

西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究

田邊 智唯*

Studies on the early life ecology of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the tropical western-north Pacific.

Toshiyuki TANABE*

Abstract The objective of this study is to provide new information on the early life ecology of skipjack tuna. It is necessary to clarify the recruitment process of the skipjack tuna population and to establish a basis for stock management in the western Pacific.

In order to collect large number of juvenile skipjack tuna, a new sampling protocol and associated gear were developed. The midwater trawl net TANSYU had a estimated mouth opening of 20m × 20m, 72m total length, 1000 - 57mm mesh size at the body, 8mm mesh size at the codend, and 5 knots maximum towing speed. A total of 497 tows was conducted in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December during the years 1992 - 1996, resulting in the collection of 6724 skipjack, 6 - 172mm standard length (SL), and 0 - 1163 individuals (inds)/1 hr tow. These results indicate the establishment of a new sampling method for capturing much larger numbers of juvenile skipjack tuna than was possible using the sampling gear of previous studies. In addition, samples of 1373 other tunas, 8 - 140mm SL, 0 - 128 inds/1 hr tow, were collected. These results verify that the TANSYU is an effective sampling gear for juveniles of not only skipjack tuna but also of other tunas and large oceanic fishes.

Juvenile skipjack tuna are widely distributed in the north equatorial current area (NEC), the north equatorial counter current area (NECC), and the boundary area of these two currents. Vertically, juvenile skipjack tuna appeared mainly from the lower portion of the mixed layer to the upper portion of the thermocline. The abundance indices, frequency of occurrence (%) and density (inds/1 hr tow) were calculated as 61% and 17inds/1 hr tow at the NECC, 35% and 6 inds/1 hr tow at the boundary, and 32% and 15 inds/1 hr tow at the NEC. The distributional pattern of juvenile skipjack tuna was different by year. The characteristics of the horizontal distribution of juvenile skipjack were as follows. During 1992 and 1994, juvenile skipjack tuna were relatively abundant in the southern area but poor in the northern area. During 1995, high concentrations of juveniles in the eastern area appeared. During 1993 and 1996, wider distributions with no clear differences between localities were observed. Young skipjack were collected only from the NECC at night, and were distributed mainly in the lower portion of the mixed layer.

The vertical distribution of skipjack changed with growth stages. For daytime in the NECC, larvae at the metamorphosis stage of around 10mm SL are distributed through depths of 0 - 200m, and juveniles after metamorphosis of 10 - 40mm SL are distributed through depths of 0 - 220m. Juveniles of 50 - 60mm SL are distributed through depths of 60 - 140m. Juveniles of 70 - 80mm SL are concentrated at about 90m depth. The vertical distribution of juvenile skipjack is related to the vertical temperature profile, with a shallower thermocline corresponding to a shallower

2002年3月13日受理 (Accepted on March 13, 2002)

水産総合研究センター業績 A 第16号 (Contribution No.A 16 from Fisheries Research Agency)

* 遠洋水産研究所 〒424-8633 静岡県清水市折戸5-7-1 (National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1, Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan)

distribution of juveniles and a deeper thermocline resulting in a deeper distribution of juveniles. The vertical distribution of juvenile skipjack is also related to the distribution of other organisms sampled. This result indicates that juvenile skipjack are preferentially distributed in the abundant layers of other organisms collected by the midwater trawl net.

In contrast, other juvenile tuna, *Thunnus spp.* including yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* are mainly distributed in the mixed layer shallower than about 80m depth in the NECC, indicating a clear difference with juvenile skipjack. The physical characteristics of distribution area of juvenile skipjack is mainly from 20 to 29°C temperature and from 33.6 to 35.5PSU salinity. Those of other juvenile tuna ranged from 26 to 29°C temperature and from 33.6 to 33.7PSU salinity. These results indicate that skipjack and other tuna juveniles have habitat segregation in the pelagic ocean of the tropical western Pacific.

The stomach contents of skipjack and other tuna juveniles collected from the NEC and NECC areas were analyzed. The importance of each organism as a prey of skipjack or other tuna juveniles was evaluated by the index of relative importance of prey taxa (IRI). The IRI of fish larvae for juvenile skipjack was remarkably high, 14107 in the NEC and 10852 in the NECC. These data indicate that fish larvae are the principal diet of juvenile skipjack. In the NEC, Euphausiacea (IRI = 162), Amphipoda (9.2), and Copepoda (0.3) appeared. In the NECC, Copepoda (IRI = 158.4), Cephalopoda (66.8), Euphausiacea (24.8) and others including Saggi-toidea, Isopoda, and fish eggs (11.6), and Amphipoda (2.1) appeared. Unidentified organisms comprised the second-highest score of the IRI, 214.4 in the NEC and 346.5 in the NECC. These organisms were consisted mainly of digested fish larvae.

Diel periodicity of feeding activities of juvenile skipjack was studied, based on the temporal change in the stomach content index (SCI), stomach fullness, and digestion index. The percentage of empty stomachs was 100% at 22 - 02 hours, 80% at 02 - 06 hours, and decreased rapidly after sunrise, reaching the minimum score of 5.3% at 14 - 18 hours (before sunset). In contrast, the percentage of full stomachs reached the maximum score of 60.6% at 14 - 18 hours, and decreased to 0% from 22 to 06 hours. The SCI and digestion index also indicated the maximum score at 14 - 18 hours in contrast with the minimum score at before sunrise. Therefore, juvenile skipjack are actively feeding during daytime from morning to sunset, but they do not feed at night.

The stomach contents of other juvenile tuna were characterized by extremely high scores of fish larvae with no clear difference between the NEC and NECC; the only occurrences of other prey organisms were Euphausiacea and Cephalopoda. These data show that other tuna are stronger piscivorous feeders than skipjack during the juvenile stage. Feeding activities of other juvenile tuna occur during daytime, similar to skipjack juvenile.

In order to clarify the growth of skipjack during the early life stages, daily otolith increments were analyzed. Samples from skipjack larvae and juveniles were collected during 1994 to 1997. The otolith measurement system (Ratoc System Engineering Inc., Tokyo) was used for counts of growth increments and measurements of increment width. Daily growth increments were validated by marginal increment analysis for juvenile skipjack.

Growth rate from larva to juvenile stages of skipjack was studied using the relationship between body length and the number of daily increments of 548 individuals (3.3 to 57.7mm SL). In 15 samples from 1996 and 1997 (3.3 to 7.8mm SL), daily growth rate was slow, 0.55mm/day at 3 to 9 days old. In 285 samples from 1994 (9 to 24 days old), daily growth rate rapidly increased to 3.3mm/day, and for 248 samples from 1995 (9 to 29 days old) growth was 2.5mm/day. The estimated length at 30 days after hatching was about 60mm SL. After metamorphosis from larva to juvenile at 10 to 12 days after hatching, a period of extremely rapid growth with large individual variation was observed. Juvenile skipjack growth rates depend on hatching year and

nursery area. The analyses of distance from core to margin at each otolith increment show that a larger individual had a faster growth period after 5 days after hatching. A rapid growth in the early life stage enables the utilization of larger prey organisms, resulting in increased survival rates in the nursery ground that are nutritionally poor. Consequently, these characteristics play an important role in maintaining the population level of skipjack in the pelagic ocean of the tropical western Pacific.

目 次

第1章 研究史

幼稚仔魚の採集法

直接採集法による採集例

間接採集法による採集例

研究史から見た幼稚仔魚採集法の課題

生活史初期における分布

卵から仔魚期における分布

稚魚期から幼魚期における分布

摂餌生態

各成長段階における食性と摂餌行動

捕食者と共食い現象

初期成長

カツオの年齢と成長

初期成長

発育段階の区分

第2章 新たな幼稚魚採集法の確立

材料および方法

採集漁具の検討

カツオ幼稚魚採集中層トロールの

設計概念と仕様

調査海域, 時期および調査船

採集方法

標本の取り扱い

結 果

TANSYU-1, 2型中層トロールの曳網特性

TANSYU-2型中層トロールによる

カツオ幼稚魚の採集結果

カツオ・マグロ類以外の採集生物

中層トロール網以外の漁具による採集結果

考 察

第3章 稚魚期から幼魚期にかけての分布生態

材料および方法

調査時期, 調査海域および調査船

採集方法

海洋物理環境要因

実験室での標本処理とデータ解析

稚魚期と幼魚期の発育段階区分

結 果

物理環境要因による海域区分

カツオ幼稚魚の水平・鉛直分布

マグロ属幼稚魚の水平・鉛直分布

その他の採集生物の生物量と

カツオ・マグロ類稚魚の出現状況

考 察

西部太平洋の熱帯外洋域における

カツオ稚魚および幼魚の分布

幼稚魚の分布と海洋環境要因との関係

カツオと熱帯性マグロ類の分布の違い

熱帯外洋域における

カツオ幼稚魚の分布と生態戦略

第4章 摂餌生態

材料および方法

供試魚の採集方法

餌生物としての魚類仔魚の採集方法

胃内容物の分析方法

食性と摂餌行動の分析方法

結 果

カツオ稚魚の摂餌生態

マグロ属稚魚の摂餌生態

カツオの餌としての魚類仔魚の分布

考 察

第5章 初期成長

材料および方法

カツオ仔稚魚標本の採集と保存

耳石の摘出と輪紋観察のための前処理

耳石日輪の計測と解析

結 果

耳石および輪紋の形態変化

輪紋形成周期の検証

耳石日輪解析による仔稚魚期の成長

考 察

西部太平洋熱帯海域における

カツオの初期成長様式

第1章 研究史

カツオ *Katsuwonus pelamis* は、高度回遊性魚類の1種として知られ、全世界の大洋の低緯度海域から中緯度海域に至る広大な外洋表層域を生活圏としている。西部太平洋では、本種はおよそ45°N から45°S にわたって出現し (Matsumoto *et al.* 1984)、低緯度海域 (20°S ~ 20°N) を再生産場、中緯度海域 (北半球では30 ~ 42°N) を索餌場として、南北方向を中心とした大規模な季節回遊を行う。そのため、中緯度海域ではカツオの来遊とともに漁獲が始まり、本種に対する漁業もその回遊生態を利用する形で発達してきた。本種が大規模な群を形成して来遊する日本列島周辺では、古くから竿釣りや曳き縄を中心として漁獲され、近年ではまき網による漁獲も目立つようになった。一方、低緯度海域では、日本をはじめとして韓国、アメリカ合衆国などの遠洋漁業国だけでなく、多数の沿岸漁業国が主要な漁獲対象種の1つとしている。西部太平洋熱帯海域における年間総漁獲量は、1970年代から1990年代にかけて増加の一途をたどり、1997年の総漁獲量は約80万トンに達している (FAO 1999)。したがって、本種の西部太平洋における国際的な漁業資源としての重要性は、1980年代以降ますます高くなっており、本種の生態解明は、高度回遊性魚類の生態解明という学術的な意味だけでなく、国際的な資源管理の基礎を築くという面からの意義も大きい。

本種の生物学的研究は、漁業の発達とともに1950年代から西部太平洋および東部太平洋に於いて、仔魚及び成魚を中心として活発に進められてきた (川崎 1965, Matsumoto *et al.* 1984)。しかしながら、カツオ資源の生物学的な特性を把握するために不可欠である本種の生活史については、十分に解明されているとは言えない。とりわけ稚魚期から幼魚期にかけての生態学的知見は、仔魚期や成魚期に比較して明らかに乏しい。カツオがこの時期にどこでどのような生活をしているのか、といった詳しい知見はほとんど得られていない。稚魚期、幼魚期の分布や摂餌、成長、移動に関しては断片的な知見から推察が行われているのみであった。本研究を行うに至った直接の端緒は、このようなカツオの初期生態研究における知見の欠如である。本章では、カツオの初期生態を中心としたこれまでの研究史をまとめることにより、本研究の背景と意

義を明らかにすることを目的とした。

幼稚仔魚の採集法

漁業からの情報が得られない幼魚期以前のカツオを採集するために、これまでに用いられてきた方法は、大きく分けて2通りに分類することができる。一方は、稚魚ネットやボンゴネットなど開口部が円形をしたリングネット類、IKMTをはじめ一般にリングネット類よりも大型で高速曳網が可能なトロールネット類、開口部フレームに環境センサーと開閉装置を搭載し多層連続採集を可能とした MOCNESS などにより対象生物を直接採集する方法 (ここでは直接採集法と称する) である。もう一方は、カツオ・マグロ類のように遊泳能力が高く、直接採集法では採集が困難な生物に対し、それらの捕食者をはえ縄などの漁具により採集し、その胃内容物から対象生物を収集する方法 (ここでは間接採集法と称する) である。直接採集法では、分布、移動、成長など対象生物に関する貴重な情報が得られるため、ほとんどの海洋生物の生態調査に対して用いられてきた。これに対して、間接採集法では、対象生物の捕食者を媒体とする点で得られる情報に制約があるが、漁業関係者からの協力を得られるならば広範な海域とあらゆる時期の標本収集が可能になるなど、直接採集法に比べてコストや労力などが低くて済む利点がある。これまでの研究では、直接採集法では主に仔稚魚期のカツオを、間接採集法では主に稚魚期から幼魚期のカツオを採集するといったように、両者の特性に応じた使い分けがなされてきた。本節では、それぞれの採集法を用いてなされてきた過去の研究例をまとめて紹介するとともに、それらの結果によって明らかになったカツオの幼稚仔採集における課題について述べる。

直接採集法による採集例

矢部 (1955) によれば、太平洋におけるカツオ仔稚魚の採集に関する報告は、岸上謙吉が大正末期から昭和初期にかけてプランクトンネットにより体長3 - 6 mm の後期仔魚6個体を採取したのがはじまりとされている (岸上 1926)。その後1940年代後半から1950年代にかけて、日本とアメリカ合衆国の研究者により、多数の採集結果が報告された。この時代に直接採集法として用いられた漁具は、開口部直径 (以下口径と称す

る)1mのプランクトンネットが中心であった。Wade (1951)は1947年から1949年にフィリピン周辺海域で季節的なサンプリングを行い、全長4 - 9mmのカツオ仔魚154個体を得た。矢部(1955)は、本邦南岸、マリアナおよびカロリン東方沖において全長5 - 9mmのカツオ仔魚10個体を、Matsumoto(1958)は中・東部太平洋低緯度海域(15°S - 25°N, 180° - 120°W)において、全長2 - 20mmのカツオ仔稚魚476個体を、いずれも口径1mのプランクトンネットにより採集した。その後もStrasburg(1960)をはじめとして、プランクトンネットは広く仔魚採集に使用され、主として仔魚期の分布に関する知見の蓄積に貢献した。西川ら(1985)は、口径1.4mまたは2mの稚魚ネットを使用し、1956年から1981年までの長期にわたり太平洋、大西洋、インド洋の低緯度から中緯度におよぶ広範な海域でのカツオ・マグロ類仔稚魚採集を行い、魚種別、季節別の出現状況を分布図にまとめて示した。

トロールネット類でのカツオ仔稚魚採集は、1960年代から行われており、これまで4つの報告がなされている。Matsumoto(1961)は開口部面積111.7㎡のBritish Columbia midwater trawl (Barraclough and Johnson 1956)を用いて中央太平洋でサンプリングを行い、尾叉長6 - 53mmのカツオ仔稚魚33個体を、King and Iversen(1962)は4種類のネット(6フィート型ビームトロール、6フィートおよび10フィート型IKMT、1m型リングネット)を使用し、中央太平洋で18 - 60mmのカツオ・マグロ類稚魚6個体を採集した。Higgins(1970)はハワイ諸島沖においてAnchovy No 2 Cobb Pelagic Trawl(開口部幅12m、高さ8mのトロール網)を使用し、昼夜2水深帯での層別採集を行った。その結果、体長7 - 47mmのカツオ仔稚魚578個体とともにキハダ *Thunnus albacares*、メバチ *Thunnus obesus* など多数のマグロ類仔稚魚を採集することに成功した。また、宅野・上柳(1978)は、全長22.5mのトロール網を使用してマリアナ沖からパプアニューギニア東沖にかけてサンプリングを行い、カツオ仔稚魚20個体(体長8 - 31mm)を採集している。トロールネット類は、一般にリングネット類よりも大型であるため、曳網のための設備も大規模となり操作時の手間も多くかかることになるが、その反面でリングネット類よりも大型の標本を多く採集することが可能である。

近年では、カツオ・マグロ類仔魚の分布生態を明らかにする目的で、口径70cm型ボンゴネット(Davis *et al.* 1990)や1㎡型MOCNESS(Boehlert and Mundy 1994)による採集例も報告されている。これらの方法により採集されたカツオ・マグロ類は、いずれも体長8mm以下の仔魚が大部分を占めていた。また、Davis

et al.(1989)は、70cm型リングネットと2m型稚魚ネットにおけるマグロ類仔魚に対する採集特性の違いを検証し、使用するネットと曳網方法により採集結果が異なることを示した。飯塚ら(1989)は、浮き刺網を用いて西部太平洋低緯度海域でカツオ幼魚の採集を試み、3年間の調査を通じて体長12 - 29cmのカツオ幼魚49個体を採集した。

以上のような種々のネット類による能動的な採集活動とは別に、仔稚魚のすう光性を利用した集魚灯採集の例もある。ハワイ周辺では、1950年代より集魚灯でカツオ仔稚魚を集め、小型の敷き網類で採集する方法が用いられてきた。Shimada(1951)は、フェニックス諸島周辺で採集を試み、体長20 - 48mmのカツオ稚魚6個体を、またThorrold(1993)は、Light trapと呼ばれる採集装置を海中に設置し、オーストラリア北東沿岸のグレートバリアリーフにおいて、体長12 - 32mmのマグロ属稚魚34個体を採集している。森(1972)によれば、これ以前にも集魚灯を使って採集を試みた例がいくつかあるが、いずれもカツオ仔稚魚の生態的な特性を検討するために十分な標本数が得られなかったことから、効果的な採集とは見なされていない。結論としてカツオ幼稚魚の直接採集法としては、開口部面積が100㎡以上の大型トロールネットが現在のところ最も有効な手段ということが出来る。

間接採集法による採集例

カツオ・マグロ類とカジキ類は、古くからカツオ幼稚魚の捕食者であることが知られ、直接採集法による捕獲が難しい稚魚期以降のカツオに対する効果的な採集法の1つとして、これらの胃内容物または吐出物から標本を収集することが1940年代後半以降行われてきた。Eckles(1949)は、ハワイ周辺海域でのマグロ漁場開発調査において漁獲されたカツオ成魚の胃内容物より全長183mmのカツオ幼魚1個体を、吐出物より全長113 - 118mmのカツオ幼魚6個体を、堀田(1953)は、薩南海域で漁獲されたカツオの胃内容物および吐出物より、体長3 - 18cmのカツオ幼稚魚60個体を得ている。須田(1953)は、小笠原諸島周辺からミクロネシア周辺で漁獲されたマグロ・カジキ類の胃内容物からカツオ幼稚魚を収集し、形態観察だけでなく季節的、海域的な出現状況および体長組成についても考察した。このように、間接採集法により広範な海域と時期にわたる収集を行い、本種の初期生態研究に応用した例は他にもみられる。Yoshida(1971)は、中央太平洋のハワイ周辺および南緯側低緯度海域(5° - 32°S, 179°E - 135°W)においてカジキ類の胃内容物からカツオ幼稚魚1742個体を採集し、海域的・季節的な出現状況と体長組成から、この海域におけるカツオの成長と産卵

について考察した。さらに森(1972)は、太平洋だけでなく大西洋とインド洋をも含めた広範な大洋からマグロ・カジキ類の胃内容物を収集し、その中から合計5851個体のカツオを得て解析することにより、各成長段階別の地理的分布を示すとともに、季節別・海域別相対密度から太平洋におけるカツオの産卵・発生について考察した。飯塚ら(1989)は、中西部太平洋低緯度海域において竿釣りで漁獲されたカツオの吐出物を中心に幼稚魚を収集し、カツオの共食い現象についても考察している。

吐出物による幼稚魚採集は、一般に目的とする標本が捕食されてからの経過時間が短いため、胃内容物からの採集に比べて鮮度が高く原形に近い標本を得ることができる。しかしながら、これらの間接採集法では、カツオ幼稚魚の採集量が捕食者に対する努力量と捕食者の摂餌量に強く影響を受ける点で採集結果を定量的に論じることは困難である。

研究史から見た幼稚魚採集法の課題

本節では、採集方法による区分に基づいてカツオの初期生活史段階を対象とした採集例を紹介したが、これらの報告からカツオの採集法における課題についてここで言及する。落合・田中(1998)によれば、カツオは全長12mm前後から稚魚期に入る。これまで用いられてきたネット類での採集結果では、稚魚期に分類される標本はごく一部であり、ほぼすべての調査において体長3 - 8mmの後期仔魚が標本の主体を占めていた。カツオ稚魚が採集されなかったことについて、多くの研究者がネットからの逃避行動に原因があると考えた。その根拠として、Davis *et al.* (1990)は、カツオとミナミマグロ *Thunnus maccoyii* 仔魚の採集個体数と体長組成が夜間と昼間において異なること、すなわち夜間の方が昼間より採集量が多く体長も大きいことを挙げている。つまり、仔稚魚の体長とネットに対する反応距離によって彼らの逃避効率は決定されるため、昼間はより視覚の発達した大きな個体ほどネットが近づいてくるのを早く感知し、より高速で捕獲から逃れることができると考えられた。このことから、彼らはカツオ・マグロ類仔魚の定量採集を行うための曳網方法として、夜間に海面から表層混合層の下端までの傾斜曳きが有効であると結論づけた。Higgins(1970)は、曳網時間帯及び水深別のカツオ仔稚魚採集結果から、彼らが昼夜の鉛直移動を行って未明には表層で分布密度が高くなることを示し、より多くのカツオ仔稚魚を採集しようとするれば夜明け前から早朝にかけて表層で曳網を行うことが有効であると述べている。

これまでの研究結果から、稚魚期以降のカツオを採

集するためには、彼らの遊泳能力、あるいは漁具に対する逃避能力をいかに上回ることができるかが最も重要な点であると考えられる。カツオ・マグロ類は、魚類の中でも最も遊泳能力の発達した仲間とされ(Magnuson 1978)、成長とともに遊泳速度は著しく増大すると考えられる。したがって、彼らの分布、密度や移動などの生態に関する定量的調査を目的とするならば、遊泳中のカツオを採集することができる漁具を開発する必要がある。これまでの漁具で採集可能なカツオ・マグロ類の体長は、いずれもごく狭い範囲の仔魚に限られており、既存の方法によって稚魚期から幼魚期における生態調査を実施することは困難である。本研究では、このような背景からまず第1にカツオ幼稚魚の新たな採集法の確立を目指したが、その結果については第2章で詳しく述べる。

生活史初期における分布

カツオは外洋表層域という広大な場において大規模な回遊をしながら生活史を送っている。その移動範囲は、成長に伴う遊泳能力の発達とともに低緯度域から中緯度域へと拡大し、マグロ類の中でも最大の分布域を占めている。本種の初期生活史の場となるのは、周年高水温が保たれ比較的経年変動も少ない熱帯海域である。本節では、カツオが初期生活史の各段階においてどのような分布を示すのか、という点に着目してこれまでの知見を整理した。

卵から仔魚期における分布

カツオの卵は形態的に他のマグロ属と区別ができないために、本種の産卵生態について詳しいことは解っていない。しかしながら、これまで広範な海域で行われた仔稚魚の分布調査の結果から(Matsumoto *et al.* 1984, 西川ら 1985, 上柳 1969)、本種は熱帯から亜熱帯にかけての広大な海域を産卵場として利用し、膨大な数の浮遊卵を産むと考えられている(Hunter *et al.* 1986)。西部太平洋でのカツオの産卵域は35°Nから24°Sに及び、主産卵域での表面水温は28から30とされる(永沼 1979)。

太平洋におけるカツオ仔魚の分布範囲はきわめて広く、赤道を挟んだ低緯度海域を中心として中緯度海域にまで達し、マグロ類の中では最大の出現範囲を示すことが知られている(西川ら 1985)。ただし、西部と東部での分布域の違いは顕著で、西部太平洋では北は日本列島南岸沿いから房総半島沖35°N付近まで、南はオーストラリア南東部沖37°S付近まで出現するが、東部太平洋では15°Nから5°Sの低緯度海域に限定される(Matsumoto *et al.* 1984)。カツオ仔魚の

出現する海域での表面水温は主に25℃以上とされ、この水温帯が南北方向に広く分布する西部太平洋では、東部太平洋に比べてカツオ仔魚の出現範囲が南北により広がっている(Matsumoto *et al.* 1984, 上柳 1969)。カツオ仔魚の分布範囲は、季節的に南北方向に移動し、北半球の夏季には35°N 付近まで出現するが、冬季には22°N 付近が北限となる(上柳 1969)。したがって、カツオ仔魚は赤道を中心とした低緯度海域ほど年間の出現期間が長く、高緯度になるほど出現期間が短くなる傾向があり、日本近海やオーストラリア南東沖では、それぞれの海域の夏季にのみカツオ仔魚の出現が認められる。Wade (1951) は、1947年10月から1949年11月にフィリピン周辺海域で季節別仔稚魚採集を行った結果から、この海域でのカツオをはじめとしたマグロ類の産卵盛期は12月から2月にあると述べている。Nakamura and Matsumoto (1967) は、中央太平洋の南緯側赤道域にあるマーケサス諸島周辺での仔魚採集を行い、6 - 10月のデータ不足はあるものの南半球の夏にあたる1 - 4月にカツオ仔魚の出現量が多かったと報告している。

また、低緯度海域でのカツオ仔魚の分布密度には、東西間で違いがあることが報告されている。上柳 (1969) は、0 - 10°N の北半球側赤道域において、東部から西部太平洋にかけて西方ほどカツオ仔魚の採集個体数が多く出現率も高い傾向にあることを示した。Matsumoto (1975) は、南半球側も含めて10°S - 20°N の低緯度域でのカツオ仔魚の採集結果をまとめ、単位曳網あたりの採集個体数は中央部の160°E - 140°W で最も多いことを示した。これらの報告によれば、太平洋におけるカツオ仔魚の主分布域は、140°W 以西の赤道を中心とした中・西部低緯度海域であると考えられる。

一方、カツオ仔魚の鉛直分布についても、これまでに幾つかの研究結果が報告されている。Strasburg (1960) は、ハワイ周辺からマーケサス諸島周辺に至る中部太平洋低緯度海域において、海面近くから水深200mの範囲内で5層に分けて昼夜別にカツオ・マグロ類仔魚採集を行った。それによると、カツオ仔魚が最も多く出現したのは0 - 60m層で、70m以深での採集量はそれ以浅に比べて明らかに少なかった。また、海面近くでは昼間はあまり採集されなかったが夜間には採集量が顕著に多くなったことから、カツオ仔魚が夜になると表面近くへ浮上する日周鉛直移動を行っていると考えられた。Higgins (1970) もハワイ周辺で2層(20m付近と100m付近)での朝・昼・夜の時間帯別採集を行い、カツオ仔魚の採集量が夜間には浅い層に多く昼間には深い層が多かったことから、カツオ仔魚の日周鉛直移動を支持した。彼は水深帯によ

って採集されたカツオ仔稚魚の体長組成が異なることにも着目し、カツオが生活史のごく初期段階には水温躍層よりも浅い水深に分布するが、成長に伴ってより深い水深帯にも分布するようになると考えた。カツオ仔魚の鉛直分布については、上柳 (1969) も昼夜での水深帯別出現状況において Strasburg (1960) や Higgins (1970) と同様の結果を得ており、昼間は0 - 2m, 20 - 30m, 40 - 50mと水深とともに採集量が増大する一方、夜間には0 - 2mでも多くの仔魚が採集された。

また、仔魚期におけるカツオの鉛直分布の特徴として、同じ高度回遊性魚類に属するキハダ、メバチ、ピンナガ *Thunnus alalunga*、ミナミマグロといったマグロ属仔魚が昼間海面近くのごく浅い水深帯(20m以浅)に多く出現するのに対し、カツオは海面付近には出現せず、20mから60mのやや深い水深帯に多く分布することが報告されており(Boehlert and Mundy 1994, Davis *et al.* 1990, Strasburg 1960, 上柳 1969)、近縁種間で生息する水深を棲み分けていることが解る。Boehlert and Mundy (1994) の調査における水温・塩分の鉛直分布をみると、カツオ仔魚の分布水深での水温範囲は22.0 - 27.2℃、塩分範囲は34.7 - 35.3‰であった。Strasburg (1960) によれば、カツオ仔魚は水温18.5℃以下でも採集された例があり、その出現最低水温は15.6℃であると推定した。これまでの結果から、カツオ仔魚は、主として表層混合層内に分布し、この厚さによりカツオ仔魚の分布水深が決まるものと考えられる。

さらに、島嶼部や珊瑚礁周辺などの沿岸域におけるカツオ・マグロ類仔魚の分布についても幾つかの研究例がある。カツオ・マグロ類の多くの種は、生活史の大半の期間を外洋表層域で過ごすと考えられ、産卵域も沿岸性の魚種に比べると広大な海域に及ぶため、それまでカツオ・マグロ類仔稚魚の分布調査もいわゆる外洋域が対象であった。Miller (1979) は、ハワイのマウイ、オアフ、カウアイ島の沿岸(距岸2km以内)で1972年5 - 6月に仔稚魚採集を行い、キハダ仔魚の高密度分布について報告した。Leis *et al.* (1991) は、1989年1 - 2月に中部太平洋仏領ポリネシアにおいて、珊瑚礁からわずか100 - 200m沖で仔魚採集を行い、過去に中部太平洋の外洋域で行われたカツオ・マグロ類仔魚の採集結果と比較した。それによると、カツオをはじめキハダ、ピンナガ、ソウダカツオ類においてそれまでの報告よりも高密度に分布していただけでなく、得られた仔魚の多くが体長2.6 - 3.5mmであったことから、これらの種が珊瑚礁周辺で産卵しているものと推定した。一方、Boehlert and Mundy (1994) は、ハワイのオアフ島の東側と西側で合計6定点(距岸1.8 - 27.8km)での仔稚魚採集を行った結果として、

東西定線ともカツオ仔魚の採集量が岸側から沖側の調査点に向かって増加する傾向を示した。これらの結果は、カツオ親魚が外洋表層域を中心に、熱帯域では珊瑚礁周辺の比較的水深の浅い沿岸域でも産卵活動を行っていることを示している。

稚魚期から幼魚期における分布

前節でも述べたように、稚魚期から幼魚期にかけてのカツオの採集例は乏しいため、この時期の分布をはじめ、後述する食性や成長などの生態的知見は、仔魚や成魚に比べて少なく断片的である。この時期の分布域については、はえ縄漁業により漁獲された大型のマグロ・カジキ類の胃内容物からの出現状況をもとに推定された例がある。Yoshida (1971) は、中央太平洋におけるカツオ幼稚魚の分布について、カジキ類の胃内容物としての出現状況に基づいて考察し、赤道付近から南半球での幼稚魚の分布域はそれまでに報告されている仔魚の分布域にほぼ一致するものと推定した。北半球における分布についても、ハワイ周辺での出現状況と Higgins (1967) の報告から、南半球と同様に幼稚魚の分布は仔魚期とほぼ同様と考えた。彼は季節的な相対密度の変化についても検討し、ハワイ周辺では8月に明瞭なピークを認め、南半球側(10-20°S)では11-2月に相対密度が高いことを示した。日本では、赤道域から南北40度以上に及ぶ広大な海域でのマグロはえ縄漁業の操業範囲を利用して、太平洋におけるカツオ幼稚魚の地理的分布についての研究がなされた(森 1972)。それによると、体長15cm未満のカツオ幼稚魚は西部から中部太平洋の赤道付近0-10°Nを中心として、北半球側では薩南、小笠原、ハワイ西方海域からも出現しており、Yoshida (1971)と同様に幼稚魚の分布域が仔魚のものと同様であると報告した。西部太平洋の低緯度海域では、他の海域よりも分布密度が高く、夏季と冬季の季節的な違いは認められなかった。彼はまた、カツオの成長に伴う分布域の拡大についても考察し、稚魚期には仔魚期とほぼ同じ海域に分布するが、幼魚期のある段階(体長15cmから35cmの間)に達すると表面水温24°C以下の低水温海域にも出現するようになることを推定した。飯塚ら(1989)は、竿釣りによって漁獲されたカツオの吐出物や浮き刺網による採集物としてのカツオ幼稚魚の出現状況から、西部太平洋熱帯域の広い範囲にわたって幼稚魚が分布することを示した。ところで、日本近海におけるカツオ未成魚の北上期の漁場表面水温がおおよそ20°C以上(二平 1996)であることから推察すると、表面水温から見た稚魚期から幼魚期におけるカツオの分布範囲は、仔魚期(25°C以上)と未成魚期(20°C以上)の間にあるものと考えられるが、詳しくは今後の調査を待

たざるを得ない。

一方、稚魚期から幼魚期の鉛直分布については、前節で述べた如く直接採集法により調べた例がないためほとんどわかっていない。仔魚期の分布水深は主として20-60mであり、成魚では水深273mまで出現した例があることから(Dizon *et al.* 1978)、水平分布と同様に成長に伴う遊泳能力の発達とともに分布水深もより深い範囲に及ぶと考えられるが、現段階ではいずれも推測の域を出ない。

摂餌生態

カツオは外洋表層域の食物連鎖において、最も高次に位置する捕食者の1つに挙げられ、これまでの研究でも外洋表層域の高次捕食者としての観点から、食性や摂餌行動について多くの報告がなされている(Matsumoto *et al.* 1984)。また、カツオがどこで何をどのようにして食べているのか、といった摂餌生態を調べることは、前節で述べた分布および後節で述べる成長と密接に関わってくる重要な問題であり、これらを結びつけるいわば鍵的な役割をもつ知見と考えられる。本節では、これまでになされた研究をもとに生活史の各段階での摂餌生態について総括するとともに、高次捕食者であるカツオ・マグロ類の食性における特徴の1つとしてしばしば指摘される共食い現象についても紹介する。

各成長段階における食性と摂餌行動

カツオの摂餌生態についても、分布や成長と同様に未成魚や成魚に関する報告は多数見られるが、初期生活史段階の知見は乏しい。仔魚期の摂餌生態については、魚谷ら(1981)、Young and Davis (1990)の報告があり、仔魚期から稚魚期のものでは青木(1999)、西川(1975)の報告が見られるのみである。魚谷ら(1981)は、インド洋でのミナミマグロの主産卵場として知られるオーストラリア北西沖で、口径2mの稚魚ネットにより採集されたカツオとマグロ属4種(ピンナガ、キハダ、メバチ、ミナミマグロ)およびソウダガツオ属仔魚の消化管内容物を調べ、それぞれの食性の違いを明らかにした。これら仔魚は体長3-8mmの個体が全体の80%以上を占めていたが、カツオとマグロ属では消化管内容物組成に明らかな違いが認められた。カツオとソウダガツオ属仔魚は主として尾虫類と枝角類の *Evadne* 属を食べていたのに対し、マグロ属4種はカイアシ類の *Corycaeus* 属を中心に摂餌していた。また、それぞれの消化管内容物の体長を測定したところ、マグロ類は体長0.21-0.80mmの餌生物が主体だったのに対し、カツオとソウダガツオ類は0.81mm

以上の餌生物を多く捕食していた。南西諸島周辺で採集されたクロマグロ *Thunnus thynnus* 仔魚の食性を調べた魚谷ら (1990) によれば、本種仔魚の胃内容物は、全長 5 mm 以下ではカイアシ類のノープリウス幼生、全長 5 mm 以上では *Corycaeus* 属が主体であり、北西オーストラリア沖のピンナガ、キハダ、メバチ、ミナミマグロと類似していた。これらのことから、彼らはマグロ属 5 種がいずれも仔魚期において小型カイアシ類を主要な餌生物として利用するものと考えた。Young and Davis (1990) もオーストラリア北西沖でカツオ・マグロ類仔稚魚を採集し、カツオ、ピンナガ、ミナミマグロの摂餌生態について報告した。彼らの調べた標本も、ほとんどが体長 3 - 8.5 mm の後期仔魚であった。消化管から出現した主な餌生物は、カツオが尾虫類と魚類仔魚であったのに対し、マグロ属 2 種ではカイアシ類のノープリウス幼生や *Corycaeus* 属および *Farranula* 属が多かった。彼らの結果によると、体長 5 mm 以上のカツオ仔魚では既に魚食性が目立ち始めているのに対し、ミナミマグロでは体長 8 mm 台以降で魚食性が認められた。カツオ仔魚の魚食性の発現時期が他のマグロ属仔魚より早いことは、前述の魚谷ら (1981) の報告からも推察される。このことについて、Tanaka *et al.* (1996) は仔魚期から稚魚期への成長過程において、消化器官が成魚型に移行する時期がカツオの方がマグロ属より早いことを示した。西川 (1975) によれば、カツオの後期仔魚から稚魚期への移行にともなう消化器官の形態変化として、腹腔の後方への拡大とそれともなう胃盲嚢、腸管の伸長が起こる。それとともに、カツオの食性においても魚類仔魚の出現率が著しく高くなり、より大型の餌生物を捕食するように変化する。青木 (1999) は、マリアナ諸島からカロリン諸島周辺にかけて採集された仔稚魚の胃内容物調査を行い、仔魚期から稚魚期にかけての各部の相対成長と餌生物との関係について調べ、口部の発達、いわゆる巨顎化 (代田 1970, 1978) と幽門垂の伸長が仔魚期における魚食性の発現に対応していることを示した。また、カツオ稚魚の餌生物としては魚類仔魚を中心として甲殻類と頭足類が出現し、魚類以外の胃内容物組成はカツオ稚魚の分布域によって変化していた。

カツオ・マグロ類仔稚魚の摂餌活動の日周期性については、カツオ (西川 1975)、ピンナガ、ミナミマグロ (Young and Davis 1990)、キハダ (上柳ら 1973)、クロマグロ (魚谷ら 1990)、およびソウダカツオ類 (Strasburg 1959) での空胃率や胃内容物量の日周変化が報告されている。これらの結果をまとめると、カツオ・マグロ類の仔稚魚は、昼間摂餌活動を行い、夜間には摂餌しない視覚捕食者であることが解る。

一方、未成魚や成魚の摂餌生態については、太平洋を中心として数多くの報告がなされている (Alverson 1963, Batts 1972, Dragovich 1970, 1971, Dragovich and Potthoff 1972, 堀田・小川 1955, 飯塚ら 1989, Nakamura 1965, Roger 1994, Waldron and King 1963)。Matsumoto *et al.* (1984) は、カツオの食性に関する既存の知見を整理した結果、カツオの餌生物として 80 科以上の魚類と 11 目の無脊椎動物が出現したと報告している。これらを総合すると、魚類、甲殻類、軟体類がカツオにとっての主要餌生物である。これらの餌生物のうち、多くの海域において魚類の出現率が高くなる傾向にあったが、海域によっては甲殻類または頭足類の出現率が高くなる傾向があり、カツオの餌生物組成が棲息海域によって異なることをうかがわせている。また、カツオ成魚の餌生物としての魚類に対する依存度は、キハダやメバチなど他のマグロ類に比べて低いとされている (落合・田中 1998)。成魚の摂餌時刻については、朝と夕方に活発に行われるとされ (Dragovich 1971, Nakamura 1965, Waldron and King 1963)、夜間には摂餌しない。このような朝夕の摂餌活動のピークは、餌生物となる小型魚類や動物プランクトンがカツオの遊泳層である表層近くに浮上する日周鉛直移動に関係していると考えられている (Nakamura 1965)。カツオの摂餌量と消化時間について水槽実験により研究した Magnuson (1969) によれば、尾叉長 39 - 50 cm、水温 23.3 - 25.7°C の条件下での 1 回あたりの最大摂餌量は体重の 7%、1 日あたりでは体重の 15% で、消化速度については、給餌から 12 時間後には胃内の餌は消化され空胃になった。

捕食者と共食い現象

カツオの捕食者としては、カツオ自身による共食いをはじめ、同じ高度回遊性魚類に属するマグロ類、カジキ類がよく知られており (青木 1999, Dragovich 1970, 1971, Dragovich and Potthoff 1972, Eckles 1949, 堀田 1953, 堀田・小川 1955, 飯塚ら 1989, King and Ikehara 1956, 岸上 1926, Marr 1948, Matsumoto 1961, 森 1972, Nakamura 1965, 須田 1953, Yoshida 1971)、この他にもウシサワラ *Scomberomorus sinensis*、カマスサワラ *Acanthocybium solandri*、サメ類、海鳥類などが挙げられる (Matsumoto *et al.* 1984)。森 (1972) によれば、マグロ類 5 種とカジキ類 10 種により捕食されたカツオの体長範囲は 3 cm から 70 cm 以上に及んでいたが、量的に最も多く捕食されていたのは体長 6 - 20 cm の幼稚魚であった。他の報告においても、捕食されるカツオの多くは体長 20 cm 以下の幼稚魚であり、この時期のカツオがマグロ類やカジキ類にとって捕食されやすい大きさであるとともに、分

布域が重なることによって彼らの餌としての役割を果たしていることになる。体長30cm以上のカツオになると大型のカジキ類などによる捕食以外あまり胃内容物として出現しなくなるため、被食による減耗は少ないと考えられる。また、カツオにおいて大型個体による小型個体への共食いが比較的好く起こる現象であることは、本種の生活史における生態的な意義だけでなく、カツオ資源全体の維持を考える上で興味深い(飯塚ら1989)。カツオ幼稚魚の共食いによる被食量については、成魚と幼稚魚それぞれの魚群の時空間的な重なり具合、つまり両者の遭遇確率がどれだけあり、さらに他の餌生物量との関係も影響すると推察される。これまでの報告の中で最も高い出現率を示した例としては、胃内容物を調べた成魚603個体中24 - 44%の個体が幼稚魚を捕食していたという例がある(Nakamura 1965)。しかしながら、幼稚魚の共食いによる減耗が全死亡率のどれだけの割合を占め、資源への加入量にどれだけの影響を与えるか、といった定量的な研究を行った例は報告されていない。一方で共食いに於いては、餌料の捕食者への転換効率が著しく高いことも、貧栄養海域におけるカツオの摂餌戦略の1つとして注目される。現在までの知見で言えることは、本種の主要な産卵場である中西部太平洋低緯度海域では常に発生時期の異なる(体長組成を異にする)群が幾つも存在し、それらがしばしば遭遇することにより種内での捕食・被食関係が成り立っているという事実のみである。

初 期 成 長

カツオの成長については、これまでに耳石をはじめとした年齢形質法(相川 1937, 相川・加藤 1938, Batts 1972, Chi and Yang 1973, Sosa-Nishizaki *et al.* 1989, Radtke 1983, Shabotiniets 1968, Uchiyama and Struhsaker 1981, Wild *et al.* 1995, Wild and Foreman 1980)や標識放流・再捕法(Bayliff 1988, Joseph and Calkins 1969, Josse *et al.* 1979, Sibert *et al.* 1983),体長組成法(Chi and Yang 1973, Joseph and Calkins 1969, 川崎 1965, 二平 1996, 田中 1989, Yao 1981, 横田ら 1961, Yoshida 1971)により多くの報告がなされている。Matsumoto *et al.* (1984)は、これらの報告を海域と解析手法により整理し、それぞれの成長式による年齢と体長との対応表にまとめて示した。しかしながら、これまでの報告のほとんどは、主に未成魚期から成魚期における成長を解析することにより生活史全体の成長式を導き出しており、初期生活史段階における成長を明らかにした例はほとんど見られない。したがって、本節では生活史全体を通

してのカツオの成長に関するこれまでの研究例を中心に総括するとともに、稚魚期までの初期成長についても言及する。

カツオの年齢と成長

カツオの成長についての最初の報告は、相川(1937)による脊椎骨での年齢査定に基づくものと考えられる。彼は沖縄周辺から伊豆・小笠原海域、さらに東北沖に至る本邦太平洋側各海域から採集したカツオ(体長30 - 80cm)の脊椎骨から年輪を読み取り、これらをもとに年齢と体長との関係を求めた。それによると、満1歳時の体長は26cm, 満2才で34cm, 満3才で43cm, 満4才で54cmに成長すると考えられた。相川・加藤(1938)は、パラオ海域で採集されたカツオについても同様な方法で年齢査定を行い、満4才までの成長については日本近海の群とほぼ同じ成長をするものと推定した。1960年代から1980年代にかけて、カツオの年齢と成長に関する研究は数多く報告されている。横田ら(1961)は、捕食者の胃内容物から出現したカツオ幼魚の地理的、季節的出現状況と体長組成から、日本近海に来遊するカツオが西部太平洋の低緯度海域(スルー海から薩南)で11月から5月に発生したものと推定した。それとともに、枕崎をはじめとして各漁港に水揚げされた漁獲物の体長組成データを加えてカツオの年齢と成長について検討した結果、満1歳時の体長は37cm, 満4才では73 - 76cmと相川の報告よりもかなり速い成長を示した。川崎(1965)も日本周辺に来遊するカツオの体長組成と須田(1953)のマグロ・カジキ類の胃内容物としてのカツオ幼稚魚の出現状況をもとに、年齢と体長との関係を調べた。その結果、夏を基準として、1歳で15cm, 2歳で45cm, 3歳で63cm, 4歳で73cm, 5歳で77cmに達するものと推定した。体長組成法によるカツオの成長に関する報告は、日本ではその後もYao(1981)が川崎(1965)と同じく日本周辺4海域(南西諸島周辺, 伊豆・小笠原海域, 五島列島周辺, 東北海道)で漁獲されたカツオの体長組成を解析することにより、日本近海に来遊するカツオの成長式を推定した。田中(1989)は、海外まき網漁業の漁獲物から月別の体長組成を整理し、そのモードの追跡によって西部太平洋熱帯海域(いわゆる南方海域)におけるカツオの年齢と成長との関係を推定した。満1歳および満4歳での体長は、Yao(1981)によれば26cmと68cm, 田中(1989)によれば27cmと62cmであった。東部太平洋のカツオについては、Joseph and Calkins(1969)が、中部太平洋ハワイ周辺ではYoshida(1971)がそれぞれ体長組成法による成長の推定を行った(Matsumoto *et al.* 1984)。近年では、二平(1996)が東北海道への来遊群について5つの体長グループを

想定し、標識放流・再捕結果と長年にわたる体長モードの追跡から、各グループの移動と成長について考察した。

一方、年齢形質法による成長解析では、前述の相川(1937)、相川・加藤(1938)の脊椎骨を用いた年齢査定以降、耳石日輪(Uchiyama and Struhsaker 1981, Wild and Foreman 1980, Wild *et al.* 1995)や第2背鰭棘(Sosa-Nishizaki *et al.* 1989)を用いた成長推定が行われた。Uchiyama and Struhsaker(1981)は、カツオの耳石(扁平石)から日輪の計測を行い、中部太平洋と東部太平洋における成長を von Bertalanffy の成長式に当てはめた。彼は尾叉長3 - 80cmでの成長速度について、27cmまでは 1.6mm d^{-1} 、27 - 71.4cmの間は 0.8mm d^{-1} 、71.4 - 80.3cmの間は 0.3mm d^{-1} と推定し、東部太平洋では中部太平洋よりも成長速度が遅いと考えた。彼らの示した中部太平洋でのカツオの成長は、これまでのすべての手法を含めた報告の中で最も速く、満1歳で44cm、満2歳で68cm、満3歳で83cm、満4歳では91cmに達する。Wild *et al.*(1995)は、東部太平洋でのカツオの成長について、テトラサイクリンを使った耳石標識・放流と再捕時の体長測定・輪紋計測から輪紋形成周期を調べた。Uchiyama and Struhsaker(1981)は、ハワイでの飼育実験によりカツオの耳石に日周輪が形成されると報告したのに対し、Wild *et al.*(1995)では輪紋数と放流期間(日数)が1対1で対応しない傾向が示された。その原因として、彼らは光学顕微鏡下での輪紋の見えにくさによる計測誤差、生殖活動に伴う輪紋形成の停滞、耳石の観察部位による影響があったのではないかと考えた。

さらに、標識放流・再捕法によって、放流期間中の成長速度をもとに成長式を推定したハワイ近海(Joseph and Calkins 1969)、東部太平洋(Bayliff 1988)、中・西部太平洋低緯度海域(Josse *et al.* 1979, Sibert *et al.* 1983)の報告がある。この方法では、標識装着による魚体への影響を考慮する必要があるものの、放流時と再捕時の体長差により放流期間中の成長を直接知ることができる点で他の方法にはない長所がある。ただし、この方法でも標識を装着できる魚体の大きさがある程度以上でなければならず、現状では体長30cm未満の魚体に標識をつけることは技術的にかなり難しい。上述の研究例においても、標識を装着した魚体の大きさはほとんどが体長40cm以上の未成魚から成魚に属するものであった。Joseph and Calkins(1969)は、438個体分の標識放流・再捕データの解析から、2通りの von Bertalanffy 型成長式を導き出した。それによると、満1歳時の体長は31cmまたは41cm、4歳時では70cmまたは73cmであった。Bayliff(1988)も同様にして von Bertalanffy 型の成長式を求め、東部太

平洋でのカツオの成長について K 値を0.658、極限体長を88.5cmと推定し、放流時体長43 - 57cm、標識放流期間30 - 90日の361個体から計算した成長速度は 0.6mm d^{-1} であった。

以上のように、これまでのカツオの成長に関する報告をまとめてみると、それぞれの成長式でかなり差があることがわかるが、これらは大きく分けて日本側(西部太平洋)とアメリカ側(中・東部太平洋)の2通りの成長に集約される。すなわち、満1歳時で30cm以下の遅い成長(日本)なのか、あるいは40cm以上に達する速い成長(アメリカ)なのかという点である。これらの成長差を棲息海域の違いによって説明するには、あまりにも差が大きすぎるように思われる。このことについて、落合・田中(1998)は、成長解析に用いたそれぞれの手法の違いがもたらしたものではないかと考えた。これまでの報告をまとめてみると、年齢形質法の中でも耳石日輪解析法では年齢を小さく見積もる傾向がある一方、脊椎骨や背鰭棘では年齢を大きく見積もる傾向が認められる。Josse *et al.*(1979)は、これまでの成長解析手法の中でもっとも信頼性が高いのは標識放流・再捕法であり、2番目に信頼性が高いのは耳石日輪解析法であると述べている。これらの結果を考慮すると、カツオは遅くとも満3年で成熟して産卵を開始し、その前段階として日本近海をはじめとした中緯度海域に索餌回遊して急速な成長を遂げる時期は満1歳または2歳である。したがって、カツオの成長についてはとくに初期成長を含む若齢期の成長速度を明らかにすることが重要である。

初期成長

上述の如くカツオの成長については多くの報告がみられる一方、本種の初期成長に関する報告は、これまでわずかに3例が見られるのみである。Radtko(1983)は、ハワイ沿岸で漁獲されたカツオ成魚から得た受精卵をふ化させ、5日間仔魚の飼育を行うことにより扁平石の輪紋観察を行った。それによると、カツオのふ化仔魚の全長は平均3.35mmで、その後の5日間にわたり扁平石に1日1本ずつの日周輪が形成されることを確認した。カツオでは、後期仔魚期以降の飼育による成長の解明については、残念ながらこれまでに研究された例がみられない。上柳ら(1974)も人工授精卵からカツオのふ化飼育を試み、卵内発生とふ化後の仔魚の形態変化について記載したが、ふ化後5日目で飼育試験を終えている。幼稚魚期の成長について言及した2例は、いずれも胃内容物として得られた標本の耳石日輪解析法(Uchiyama and Struhsaker 1981)または体長組成法(Yoshida 1971)によりハワイ周辺海域での成長を推定したものである。耳石日輪解析法に

よる成長解析結果では、日輪計測した体長20cm未満の幼稚魚標本が11個体と少ない点に注意が必要ではあるが、ふ化後3ヶ月で体長14cmに達し、満1年では44cmになるものと推定された。一方、体長組成法では、ふ化後1ヶ月で体長9cmになり、その後の11ヶ月間では月2cmの速度で成長し、その結果満1年での体長は31cmに達すると推定した。ただし5年間にわたって体長組成モードを解析した結果から、満1才までの1ヶ月あたりの成長速度は1.2 - 2cmと年による違いが見られた。

以上のように、カツオの初期成長についてはきわめて知見が少なく、1980年代後半以降は報告がない。本種の初期成長に関する知見が不足していることの要因としては、本種は現在までの技術では飼育が困難であり、親魚の養成および採卵からのふ化飼育による実験的な検討ができなかったことに加え、第2節で述べた如く天然域での広大な産卵場と長期にわたる産卵期間によりあらゆる体長の魚群が至る所で同時に存在し、特定の発生群の移動・回遊および成長といった生活史を追跡することが難しいことが挙げられる。このような現状を考慮して、本研究では近年多くの魚種で取り入れられている耳石日輪解析法を使ってカツオの日齢査定を行い、初期成長を明らかにすることを試みた(第5章)。

発育段階の区分

本研究で取り扱うカツオは、幾つかの発育段階の個体を含んでおり、以後の混乱を避けるためにこれまでの知見に基づいてここで定義付けを行うこととする。本研究の対象としたカツオの大きさは、主として体長10mm前後から200mmまでである。落合・田中(1998)によれば、カツオは全長12mm前後で背鰭と臀鰭の鰭条数が定数に達し、稚魚期に入るとされている。稚魚期の終わりおよび幼魚期の始まりについては、森(1972)は満1歳に達する体長として、それまでの研究者が示した満1歳時の体長のうちで最も小さい15cmを境界とした。一方、青木(1999)によればカツオの鰓耙数は体長100mmを越えると定数に達するとしており、カツオの特徴である紡錘型の体型と背部の色を含めて形態学的に判断すると幼魚期の始まりは体長100mm前後とするのが適切と考えられる。したがって、本研究ではカツオの発育段階について、仔魚、稚魚については岩井(1988)の魚類の発育段階区分をもとに、幼魚については形態および生態学的特徴をもとに以下のように区分した。

前期仔魚：ふ化後から卵黄吸収が終わるまでの段階
後期仔魚：卵黄吸収後から各鰭の条数が定数に達す

るまでの段階

稚魚：鰭条数が定数に達し、体側背部の暗色化と腹部の銀白色化、第1背鰭、第2背鰭、小離鰭の形状など、体の各部の特徴が発現初期にある段階

幼魚：鰓耙数が定数に達し、全ての鰭の形状、尾鰭隆起縁を備えた尾柄部など体の各部の特徴が発現するとともに、紡錘型の体型など種の形態的特徴が現れてくる。成長が盛んで、遊泳能力の発達とともに行動範囲を拡大していく段階

先にも述べたように、カツオの初期生態研究は標本採集の困難性からこれまで仔魚期までを対象とした研究がほとんどで、稚魚期以降についての知見は極めて乏しく、このことが発育段階の定義付けに関しても曖昧なままになっている原因と考えられる。本研究では、上述の根拠に従って、体長10mm前後までを仔魚、体長100mmまでを稚魚、体長100mm以上を幼魚として区分することとする。

第2章 新たな幼稚魚採集法の確立

カツオは、外洋表層域での長距離回遊を行うための卓越した遊泳能力を備えており、その発達は生まれてから成長とともに急激に進行する。本種の遊泳能力の高さは、紡錘型の体型をはじめとして、隆起縁の発達した強靱な尾柄部、遊泳時の海水抵抗を低下させるために退化した魚鱗及び収納可能な第1背鰭を見ても伺い知ることができる(岩井 1985)。カツオ漁業では、本種の遊泳行動を巧みに利用することで漁獲量の増加に結びつけようとする工夫がなされてきた。そのため、漁獲対象となった生活史段階以降のカツオの生態研究においては、漁業からの漁獲情報が有効な手段となる。これに対して、漁獲対象となる前の生活史段階、特に稚魚期から幼魚期においては、漁業によって発達してきた漁獲技術をそのまま使用して採集することが困難なだけでなく、一般の卵・仔魚期の生態研究で広く普及している小型ネット類でもほとんど不可能であった。稚魚期から幼魚期のカツオは、最も自然死亡率の高い卵から仔魚期の初期減耗を乗り越え、急速に遊泳能力を発達させながら外洋での行動範囲を拡大していくものと考えられる。

一方、稚魚期から幼魚期におけるカツオの生態を明らかにすることは、このあとに起こる漁業資源への加入のメカニズムや日本近海への来遊時期と来遊量予測のための基礎知見といった水産資源学的見地から重要な意味を持つ。そのためには、これまで不可能とされてきたカツオ幼稚魚に対する効果的な採集方法を確立

することが必要不可欠の条件となる。本研究では、まず現在利用することができる漁具の中から、どれがカツオ幼稚魚の採集において最も効果的であるか検討し、ついでその漁具を用いてカツオ幼稚魚採集法の開発に取り組んだ。また、この採集法の確立により、カツオのみならずマグロ類やサケ・マス類など他の外洋性大型浮魚類の幼稚魚採集にも道が開かれるものと考えた。1992年から5年間にわたり西部太平洋熱帯海域を調査海域として、カツオ幼稚魚採集中層トロール網 TANSYU による採集を行った結果、これまでの採集法では得られなかった体長範囲のカツオを1時間曳網あたり1000個体単位で採集することが可能になった。この採集法の開発により、これまで知見の乏しかったカツオの稚魚期から幼魚期にかけての生態研究は、新たな展開方向を見出すことができたと考えられる。以下にその概要を記す。

材料および方法

採集漁具の検討

1991年度当初からカツオ幼稚魚の新たな採集法を確立するために、どの漁具が最もカツオ幼稚魚の採集に有効であるか、という点から研究を開始した。現在の漁具は多種多様で、それぞれ対象生物を捕らえるための工夫がなされて進歩してきたが、本研究で候補としたのは、カツオ漁業で広く使用されている釣り漁具類やまき網、浮き刺網のほか、マアジやスケトウダラ漁業で使われる中層トロール網、過去のカツオ稚魚採集で用いられた集魚灯と敷き網であった。信頼性の高い採集結果の得られる漁具を用いることは、本研究の主目的であるカツオ幼稚魚の生態解明にとっての根本的な課題であるが、研究史で述べたようにこの時期の知見は著しく不足しているため、漁具設計の基礎情報として必要な対象魚の分布や遊泳行動については、カツオだけでなくマグロ類やマアジ、マイワシなどの小型浮魚類の生態に関する知見(落合・田中 1998)と漁業関係者からの聞き取り調査結果も参考にした。各漁具の漁獲特性についても、漁業関係者や漁具・漁法の専門家からの聞き取り調査に基づいて、それぞれの特徴を把握しながらカツオ幼稚魚に対して効果的な採集漁具になり得るかどうか検討した。

まず釣り漁具について、現在カツオ漁業では竿釣りと曳き縄が全国的に広く用いられているが、沖縄から静岡県にかけての黒潮流路沿いの海域で夏季を中心として出現しこれら漁業で散発的に漁獲されるカツオ幼魚の大きさは、最も小さいものでも体長20cm以上である(沖縄水試, 高知水試, 和歌山水試, 静岡水試 私信)。したがって、本研究の採集対象とした体長20cm

以下のカツオに対しては、現在一般的に用いられているカツオ釣り漁具の利用は困難であると判断した。ついでまき網については、現在低緯度海域を中心として操業する海外まき網漁船で漁獲されるカツオの体長は主として30cm以上で、30cm以下の幼魚が漁獲されることは少ない(田中 1989)。まき網により幼魚を採集するには、一般の漁船で用いられているよりもかなり網目を小さくする必要が生じるとともに、対象とする幼稚魚が表層である程度の群を形成してその分布位置が確認できなければ操業することが困難である。大型竿釣り船の乗組員の中には、低緯度海域においてカツオ幼魚が群をなして遊泳するのを見たことがあると証言する者もいたが、記録として残された情報がないため、幼魚群が一般的に昼間ごく表層を遊泳しているかどうか現在の知見では不明である。また浮き刺網についても、漁業で漁獲されるカツオは大型魚であるとともに、東北区水産研究所により行われた1984-1986年のカツオ幼魚調査においても、十分な採集結果が得られていない(飯塚 1985, 永沼・浅野 1987)。浮き刺網は、海面付近に漂流させて使用するため漁獲可能な深度は海面からせいぜい15m程度であるが、研究史で述べたようにカツオの初期生活史段階における分布水深はこれよりも深い(Higgins 1970)。これらのことから、浮き刺網についてもカツオ幼稚魚の効果的な採集は難しいと判断した。集魚灯採集についても、これまでの例では有効な採集法となっていないとともに、根本的な問題としてカツオに集光性があると報告はないことが挙げられる。

これらに対し、中層トロールの利点としては、表層から中層に至るまであらゆる水深層で採集活動を行うことができ、カツオ幼稚魚の遊泳能力を上回る漁獲性能があれば他の漁具よりも有効な採集法に成り得ると考えられた。研究史で述べた如く過去に用いられた中層トロール網では、いずれもカツオ幼稚魚の効果的な採集には至らなかったが(Higgins 1970, King and Iversen 1962, Matsumoto 1961, 宅野・上柳 1978), その原因としてこれらの網は規模が小さく彼らの遊泳能力を上回っていなかったことが考えられる。したがって、カツオ幼稚魚の遊泳能力を把握し、これを上回る採集能力を備えた大型中層トロール網を開発することができれば、カツオ幼稚魚の効率的な採集が可能になると考えられる。以上の検討結果を踏まえて、本研究では大規模な中層トロール網を用いて、カツオ幼稚魚の新たな採集法を開発することを目指した。

カツオ幼稚魚採集中層トロールの設計概念と仕様

カツオ幼稚魚の効果的な採集方法を確認するために、新たに中層トロール網 TANSYU の設計、製作に

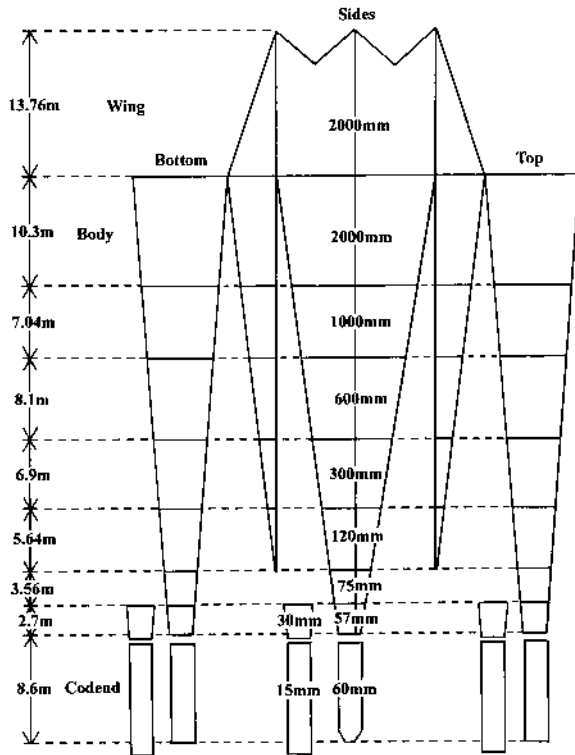


Fig. 2-1a. A schematic diagram of the midwater trawl net TANSYU-1 that was developed for collecting juvenile and young skipjack.

取り組んだ。TANSYU の設計にあたっては、カツオ幼稚魚の高度な遊泳能力に対処することを念頭に据え、大規模な開口部と高速曳網が可能であることを最も基本的な設計概念とした。TANSYU が採集対象としたカツオ幼稚魚の体長範囲は、研究史で述べたこれまでの漁具では効果的な採集ができなかった10 - 200mmとした。網の設計と調査時の運用に関する事前情報として、西海区水産研究所の漁業調査船陽光丸で使用されている中層トロール網 Yoko-2型によるマイワシ親魚の資源量調査 (Takeshita *et al.* 1988) と、海洋水産資源開発センターが実施した大型トロール船によるチリ沖でのマアジ資源調査 (海洋水産資源開発センター 1989) を参考にした。

本研究で使用する網の大きさや目合、調査時の曳網速度などの仕様については、1992年度からの調査航海で使用した調査船のワープウィンチの曳網能力と船尾部甲板の広さを考慮しながら、TANSYU-1型の設計図を作成した (図2 - 1a)。カツオ・マグロ類の遊泳速度に関する Magnuson (1978) の報告を参考にして、本研究での採集目標であるカツオの最大体長 (200mm) における瞬間的最大遊泳速度を約4ノットと想定した結果、TANSYU-1型の最大曳網速度はこれを十分に上回る5ノットとして設計した。開口部の大きさは採集量の多寡に関係すると考えられるが、投・揚網時の取り扱いを考慮して高さおよび幅を約20mに設定した。

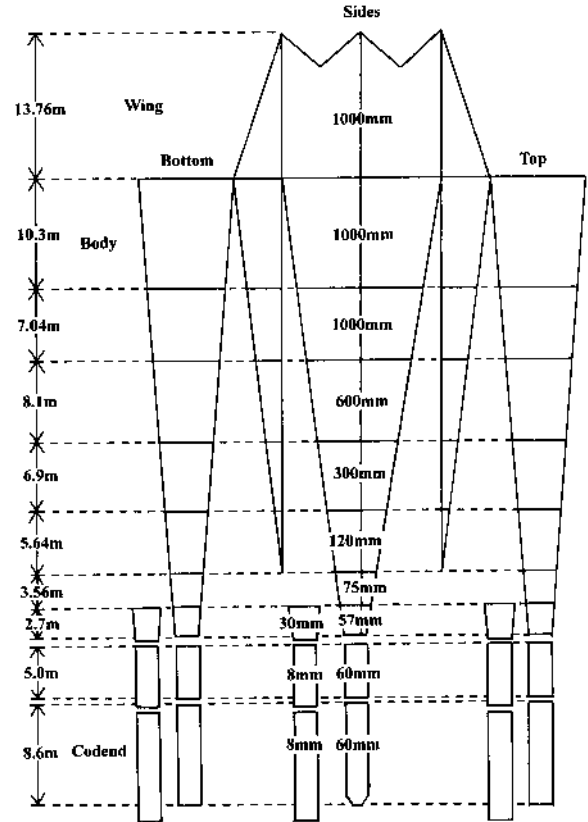


Fig. 2-1b. A schematic diagram of the improved midwater trawl net TANSYU-2.

これらの条件に基づいて設計したところ、TANSYU-1型の全長は66.6m、ヘッドロープとグランドロープの長さはそれぞれ38.6mとなった。身網部分の目合は、袖網および1段目が2000mmで最後部7段目の57mmまで段階的に小さくした。コッドエンド部は、全長13.6m、目合60mmとした。身網7段目とコッドエンド部には、小型稚魚の網目からの逸出を防止するために目合30mmと15mmの内張り網を取り付けた。網の構成素材となるトワインの直径は1.91 - 5.06mmで、各トワインの原糸はすべて太さ380デニールのポリエチレン製とした。

以上がカツオ幼稚魚採集中層トロール網 TANSYU-1型本体 (主漁具) の仕様であるが、これを曳網するための副漁具類として、袖網の先端からの曳索にあたるペンネット類、網口を水平方向に開かせるための開口板 (オッターボード)、開口板をワープから切り離すためのハンドロープが必要であり、これらを調査船からの曳索であるワープに取り付けて使用した。オッターボードの大きさは縦1.7m × 横2.8mで、但州丸が他の調査で使用しているものをそのまま転用した。1993年には、改良を加えた TANSYU-2型 (図2 - 1b) を製作した。

TANSYU-1型の製作にあたっては、事前に株式会社ニチモウ下関営業所 (山口県下関市) において模型を使った水槽実験を実施し、曳網時の網形や漁具抵抗

を観測した。

調査海域、時期および調査船

1992年度より5年間の予定で、毎年10月中旬から12月上旬にかけて中層トロールを主体としたカツオ幼稚魚の採集航海を実施し、新たな採集法の確立を目指した。調査海域の選定にあたっては、第1に北半球の秋冬期においてカツオ幼稚魚が高密度に生息すると考えられる海域であること、第2にカツオ幼稚魚の採集活動が自由に行える海域であること、第3に予定された航海日数の範囲内においてできる限り多くの調査日数を確保するために日本から遠すぎないこと、を条件とした。第1の点については、研究史で述べたように低緯度海域ほどカツオ仔稚魚の年間を通じての出現期間が長いことから、赤道近くの熱帯域では幼稚魚も周年にわたって生息すると考えられることと(森 1972)、太平洋におけるカツオ仔稚魚の分布密度の東西間での偏りから、西部ほど幼稚魚も多く生息すると考えられることにより(上柳 1969)、西部太平洋熱帯海域が本研究の調査海域として適当であると判断した。第2の点については、カツオ仔稚魚の分布域がきわめて広大な海域にわたることから(西川ら 1985)、日本の200海里経済水域および公海域だけでは幼稚魚の分布を把握することは困難であり、他国の200海里経済水域への入域が必要と考えられた。そこで、当該海域の国際機関であるSouth Pacific Commission(南太平洋委員会、略称SPC)の協力のもとで入域申請を行ったところ、パラオ共和国およびミクロネシア連邦共和国より入域許可を与えられた。第3の点については、上記2点を満たす海域において問題とはならないと判断した。以上の点を考慮に入れて検討した結果、図2-2に示す調査海域が本研究の対象となった。

調査船については、大規模な中層トロール網を曳網することができる設備を有することを第1条件として検討した結果、兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但州丸(444トン)を調査船とすることとなり、但州丸が代船建造となる1994年度以降には山口県立水産高等学校の青海丸(403トン)により調査を実施することとした。

採集方法

1) 中層トロール

最初の2年間の調査(1992年度および1993年度)では、まずカツオ幼稚魚がどこでどのように生息しているのか把握するために、できる限り広い範囲で採集を行うよう曳網計画を立てた。調査海域の海洋物理学的環境の特徴として、北赤道海流と北赤道反流が南北に位置し、北赤道海流は東から西に向かい、北赤道反流

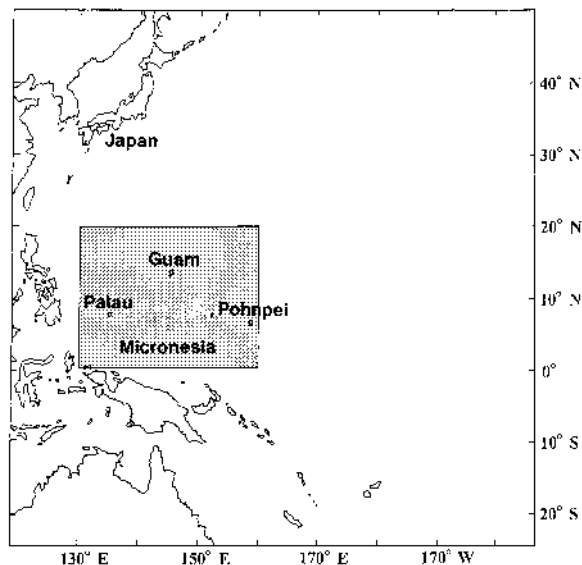


Fig. 2-2. The sampling area (0 - 20° N, 130 - 160° E).

は西から東に向かって流れている。これらの海流ごとにカツオ幼稚魚の分布と海洋環境との関係を明らかにするために、観測定線は南北方向を基本として設定した。観測定線上を航行しながら、魚群探知機とソナーによるカツオ幼稚魚の探索を行って魚群に対して中層トロールを投網するとともに、発見できなかった場合に備えて定期的な200m以浅での1時間水平曳きを行うこととした。本研究では、中層トロールの曳網時間を投網開始後トロール網開口部が所定の水深層に達した時刻からワープの巻き上げを始める揚網開始時刻までの間と定義し、原則として1回の曳網時間を1時間とした。曳網時における網口の水深と高さは、漁網監視装置(Furuno FNR-200)により常時観測し、目的の深度を維持することとした。

Higgins(1970)の報告から、遊泳能力の高いカツオ幼稚魚を捕獲するには彼らの視覚が機能する昼間よりも夜間の方が有利と考えられたため、曳網は夜間を中心に行うこととしたが、日周期的な採集データを得る目的で昼間の曳網も実施した。曳網水深については、研究史で述べた如くカツオ幼稚魚の生息水深層に関する知見が全くないため、仔魚と成魚の分布水深に関する知見から推測し(Dizon *et al.* 1978, Strasburg 1960, 上柳 1969)、基本的には表層から水深200mの範囲内に生息するものと仮定した。したがって、TANSYU型中層トロールの網口の高さにより、基本的な曳網水深層は0 - 200mの間の10層となった。目的とする曳網水深にトロール網を位置させるには、主としてワープの長さを調節することで対応した。また、曳網速度の違いによるトロール網の漁獲特性を調べるために、速度を変えての曳網試験も行い採集データを分析した。

2) その他の漁具

中層トロール網以外の漁具については、浮き刺網、曳き縄および釣り竿と擬似針、たも網を用意し、中層トロールの補完的な採集活動としての使用を考えた。このうち曳き縄は航走中に使用できるため、夜明け後から昼までの調査点間の移動中に随時使用することとした。釣り具類はカツオが漂流物の下に付く性質を考慮して、航走中に海面上の流れ物を探索し、魚探反応により魚群の存在を確認した場合に随時停船して漁獲を試みることにした。たも網は夜間停船して海洋観測を行う際に、調査船の近くに遊泳してきたカツオ幼稚魚がいた場合に捕獲を試みることにした。浮き刺網は前回東北区水産研究所が実施したカツオ幼魚調査で使用したものを用意し(飯塚 1985, 永沼・浅野 1987), 中層トロールの補完的な漁具として夜間停船中に場合によっては使用することとした。

標本の取り扱い

中層トロールの揚網後コッドエンド部から取り出したサンプルは、まず全体の湿重量を測定し、つづいて各動物群へのソーティングを行った。採集物中のカツオ・マグロ類を取り出して80%アルコールに保存した後、ハダカイワシ類、カタクチイワシ類などの魚類、甲殻類、頭足類、その他に分類し10%ホルマリン固定または冷凍保存した。カツオ・マグロ類については全標本を保存して持ち帰ったが、その他の動物群のうち、カタクチイワシ科のタイワンアイノコ、オキアミ目、十脚目などについては、個体数が著しく多く採集された場合(約1 kg以上)は、総量を測定した後、1部を無作為抽出して持ち帰った。

カツオについては、実験室においてMatsumoto *et al.* (1984)に従って実体顕微鏡下で外部形態観察により種の査定を行った。マグロ類についても形態観察を行ったが、現在の知見では幼稚魚の外部形態の違いによる種査定ができないため、一部の個体をミトコンドリアDNAの制限酵素切断型によるマグロ属の種判別法(Chow and Inoue 1993)により査定した。その他の採集標本についても可能な限りの分類を行った。カツオおよびマグロ属の標本については、さらに計測可能なもののみ体長と体重の測定を行った。

結 果

TANSYU-1, 2型中層トロールの曳網特性

TANSYU-1型を使用した1992年の調査では、調査海域内3 - 10 N, 137 - 155 Eにおいて合計108回の曳網を実施した。調査船但州丸のワーブ長と曳網水深と

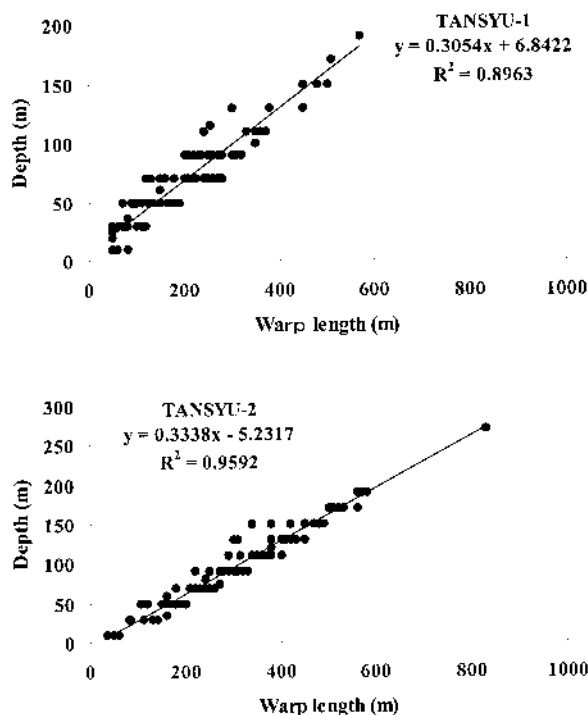


Fig. 2-3. Relationship between the warp length and the towing depth of the midwater trawl net TANSYU-1 (top) and TANSYU-2 (bottom).

の間には、高い正の相関が得られ(図2-3)、ワーブ長の調節によってTANSYU-1型を目的とした水深で曳網することができた。曳網開始後における水深の微調整は、漁網監視装置からの信号によりヘッドロープ水深を確認しながら、調査船の可変ピッチプロペラによる船速の微調節により所定の水深層を維持した。各曳網水深層におけるTANSYU-1型の平均曳網速度および平均網口高は、それぞれ4.3 - 4.9ノットおよび20.2 - 21.2mであり、設計時に期待した数値が得られた(表2-1)。袖網間隔については、ワーブの船尾ギヤロースおよびその2m後方における両舷間隔から計算により推定したところ、表層0 - 20mでの平均値10.7m(範囲9 - 15m)から最深部120 - 200mでの平均値23.9m(範囲14 - 36m)まで、水深とともに網口が水平方向に広がる傾向が認められた。これはワーブの伸長によって、開口板が海水抵抗を受けて水平方向に拡がる力を増大させることに起因する。したがって、TANSYU-1型の網口形状は、表層近くでは鉛直方向に楕円形となり、60 - 120mではほぼ円形、これより深い水深では水平方向に楕円形を呈するものと推定された。

TANSYU-1型による漁獲物湿重量を曳網速度別にみると3.5 - 4.5ノットでの1時間曳網あたり漁獲量(kg)が多く、それ以下及び以上では明らかに少ない傾向が認められた(図2-4)。これらの結果を見る限り、TANSYU-1型の漁獲効率を最大にするための

Table 2-1. Comparison of characteristics of the towing performances between the midwater trawl nets TANSYU 1 and TANSYU 2

TANSYU-1

Depth (m)	No. of tow	Opening (m)	Warp length (m)	Speed (knot)	Sample (g / 1 hr tow)
0 - 20	9	20.2	58.9	4.9	745.4
20 - 40	18	21.2	85.0	4.4	1014.5
40 - 60	22	20.5	140.7	4.3	1466.7
60 - 80	23	20.6	205.9	4.4	4223.4
80 - 120	24	20.2	276.0	4.4	10566.6
120 - 200	10	20.3	442.0	4.8	4978.3

TANSYU-2

Depth (m)	No. of tow	Opening (m)	Warp length (m)	Speed (knot)	Sample (g / 1 hr tow)
0 - 20	5	20.0	49.0	4.8	2662.0
20 - 40	13	19.5	114.2	4.9	2390.8
40 - 60	18	19.4	169.2	4.7	4229.4
60 - 80	15	18.6	228.7	4.5	19486.0
80 - 120	40	18.1	317.4	4.6	8951.5
120 - 200	28	18.1	459.3	4.6	3103.2

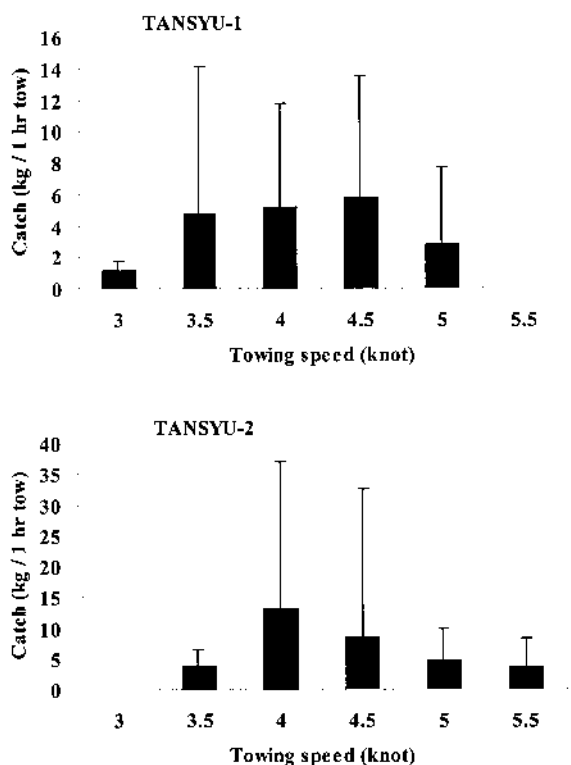


Fig. 2-4. Average wet weight of the total samples collected at various towing speeds of the midwater trawl net. Thick bars indicate average wet weight of total samples ; thin bars indicate the standard deviations.

曳網速度が4.5ノット前後にある。曳網水深別の1時間曳網あたり漁獲量では、80 - 120mで最大を示し、これに次いで120 - 200mで多く、0 - 20mで最も少なかった(表2 - 1)。中層トロールの網口形状は漁獲効率に影響を及ぼすと考えられ、真円に近いほど漁獲効率が高いとされる(西牟田ら 1990)。TANSYU-1型における各曳網水深での網口形状と平均漁獲量を比較すると、漁獲量が最大となった80 - 120mでは網口形状もほぼ円形に近かったと考えられる。しかしながら、漁獲量は漁獲効率よりもむしろ各曳網水深における生物の現存量を反映すると考えられるため、各水深層に均一に分布する生物種を対象とした漁獲試験を行わない限り、水深別に漁獲効率を求めることは困難である。

1993年の調査では、後述する TANSYU-1型によるカツオ幼稚魚の採集結果を受けて、より効果的な採集漁具とするための改良を加え、TANSYU-2型とした(図2 - 1b)。TANSYU-1型からの改良点は、袖網及び身網1段目の網目を2000mmから1000mmに交換したこと、コッド部を5m延長したこと、コッドエンド内張りの網目を15mmから8mmに交換したことである。これらの改良は、主として小型のカツオ稚魚の網目からの逸出を減少させることとコッドエンド部における水流をよりスムーズにすることが目的であった。TANSYU-2

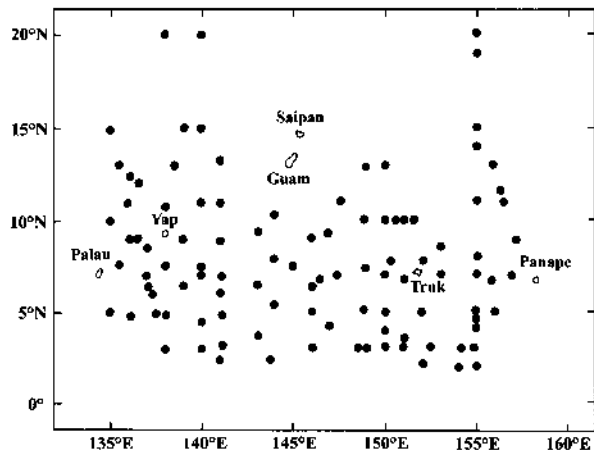


Fig. 2-5. The sampling locations () for the midwater trawl net TANSYU in October to December 1992 - 1996.

型の漁具抵抗は、この改良に伴い1型に比べて約20%増加したが、各曳網水深における平均曳網速度にはほとんど影響が認められなかった(表2-1)。これに対して、平均網口高は1型に比べて2型の方が小さく、その差は曳網水深が深くなるほど大きくなる傾向が認められた。曳網速度別の1時間曳網あたり漁獲量は、1型よりも遅い4ノットで最大となる明瞭なピークが認められた。曳網水深別の平均漁獲量では、80m以深では1615 - 1875gの減少が見られたもののそれ以浅の4

層では大きく増加しており、1型よりも網目を小さくした網口部とコッドエンド部内張りの網目を細くして延長した効果により小型の漁獲物の逸出量が減少したためと推測された。

1993年の調査結果により、TANSYU-2型のカツオ幼稚魚採集用漁具としての有効性を確認できたため、1994年以降の調査ではTANSYU-2型を使用することとした。

TANSYU-2型中層トロールによるカツオ幼稚魚の採集結果

1992年から1996年までの5年間の調査を通じて497回の中層トロール曳網を行い(図2-5)、合計6724個体のカツオ幼稚魚とともに1373個体のマグロ属幼稚魚を採集した(表2-2)。カツオ幼稚魚の水平および鉛直分布については第3章で詳しく述べるため、本章では調査海域内での出現状況と体長組成を中心に記述する。カツオ幼稚魚が採集された海域は、調査海域内の1 - 20°N、135 - 157°Eと広範囲にわたり、曳網を行った海域のほぼ全体に及んでいた。カツオ幼稚魚の出現した水深範囲も0 - 240mと広く、彼らが本研究対象海域内において水平・鉛直的に広大な範囲に生息していることが解った(表2-3)。曳網水深層別にカツオ幼稚魚の採集結果を比較すると40 - 80m層

Table 2-2. Sampling results of skipjack (SKJ) and other tunas (THS) by years using the midwater trawl net TANSYU in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) during October to December 1992 - 1996.

Years	Periods	No. of tow	Occurrence (%)		Total specimens		No.inds/1 hr tow	
			SKJ	THS	SKJ	THS	SKJ	THS
1992	10.21 - 11.23	108	40.7	14.8	324	356	3.0	3.3
1993	10.28 - 12.05	121	51.2	30.6	1232	255	10.2	2.1
1994	11.01 - 12.07	98	58.2	37.8	1662	463	17.0	4.7
1995	10.29 - 12.07	75	46.7	26.7	2928	135	39.0	1.8
1996	10.29 - 12.09	95	42.1	21.1	578	164	6.1	1.7
Total		497	47.9	26.2	6724	1373	13.5	2.8

Table 2-3. Results of the sampling skipjack tuna by depth stratum using the midwater trawl net TANSYU based on the 1992 - 1996 cruises.

Depth (m)	No. of tow	Occurrence (%)	No. Inds/1 hor tow (%)	Mean SL ± <SD (mm) (range)
0 - 40	76	30.3	5.8 (12.6)	21.3 ± 8.3 (10.9 - 70.7)
40 - 80	163	58.3	20.2 (44.1)	20.6 ± 13.0 (7.1 - 171.6)
80 - 120	148	51.4	15.6 (34.1)	28.7 ± 13.5 (5.5 - 152.4)
120 - 200	93	43.0	3.8 (8.4)	23.6 ± 9.5 (9.4 - 124.5)
200 - 300	16	18.8	0.4 (0.8)	30.3 ± 15.3 (11.7 - 47.6)

では出現率（幼稚魚が採集された曳網回数/総曳網回数×100）が60%近くを示し、80-120m層でも50%を越えていた。これらの水深層では、1時間曳網あたり採集個体数も20.2および15.6個体と他の水深層に比べて顕著に高く、カツオ幼稚魚が主として40-120mに生息しているものと考えられた。

各年別にカツオ幼稚魚の採集状況を比較すると、年によってかなり採集結果が異なっている（表2-2）。総曳網回数は最多の1993年と最少の1995年の間に1.6倍の差があるため、カツオ幼稚魚の総採集個体数を経年的に比較することはできないが、単位努力量あたりの出現率と1時間曳網あたり採集個体数の年変化を比較することは可能と考えられる。カツオ幼稚魚の出現率は40.7-58.2%の範囲にあってどの年においても高く比較的変動幅が小さいのに対し、1時間曳網あたり採集個体数では年変化が大きく、最小の1992年と最大の1995年には13倍もの差が認められた。マグロ属幼稚魚の出現率は14.8-37.8%の範囲にあり、カツオと比較すると変動幅が大きくどの年においてもカツオより低い値を示した。しかしながら、マグロ属幼稚魚の出現率の経年変化は、カツオのそれと一致し1992年に最小、1995年に最大値を示した。マグロ属幼稚魚の1時間曳網あたり採集個体数は、1.7-4.7個体とカツオに比べて変動幅が小さく低い値で推移した。出現率は幼稚魚が採集される確率、すなわち幼稚魚と中層トロール網の遭遇確率を反映する数値であるため、彼らの分布範囲の広がりを示す指数であるのに対し、1時間曳網あたり採集個体数は幼稚魚の生息域における分布密度を反映する指数であると考えられる。この点から判断する限り、西部太平洋熱帯域におけるカツオ幼稚魚の分布範囲は外洋表層（0-240m、主として0-200m深）全体に及ぶほどの広がりを持ち、分布密度は近縁の熱帯性マグロ属よりかなり高いものと見なされた。

5年間に採集したカツオ幼稚魚の体長範囲は55-171.6mmと幅広く、生活史段階では後期仔魚から幼魚に属し、当初の採集目的とした体長範囲10-200mmに近かった。年ごとにカツオの体長組成を比較すると、各年の体長範囲（平均±標準偏差）は、1992年が15.2-159.1mm（33.8±20.1mm）、1993年8.1-148.8mm（23.4±14.5mm）、1994年7.1-171.6mm（25.7±18.7mm）、1995年5.5-57.4mm（21.7±4.7mm）、1996年9.1-69.7mm（24.2±11.0mm）で、体長モードは1993年、1994年、1996年には10-19mmクラスにあり、1992年と1995年には20-29mmクラスにあった（図2-6a）。各年とも体長範囲10-50mmの小型稚魚が占める割合が89.6-99.2%と高かったのに対し、体長100mm以上の幼魚の割合は0-2.3%ときわめて低かった。水深別にカツオの体長を比較すると、体長範囲が最も広がったのは40-80m

層、次いで80-120m層、120-200m層の順で、いずれも後期仔魚から幼魚に至る標本が得られたのに対し、40m以浅と200m以深では標本の体長範囲が狭く、採集された標本は全て稚魚であった。マグロ属幼稚魚の体長組成も年による若干の違いは見られるものの、基本的にはカツオの体長組成と類似していた（図2-6b）。各年の体長範囲（平均±標準偏差）は、1992年が15.3-103.1mm（30.1±6.9mm）、1993年8.0-139.8mm（22.6±17.7mm）、1994年9.9-137.5mm（28.0±11.3mm）、1995年9.1-57.4mm（27.1±11.8mm）、1996年13.3-58.4mm（24.5±8.6mm）で、体長モードは1993年と1995年が10-19mmクラス、1992年、1994年、1996年が20-29mmクラスにあった。マグロ属でもカツオと同様に体長範囲10-50mmの小型稚魚が占める割合が94.9-99.4%と顕著に高く、これとは対照的に体長100mm以上の幼魚の割合は0-2.1%と低かった。幼稚魚の平均体長は、カツオ、マグロ属ともTANSYU-1型で採集した1992年には30mmを越えていたが、改良した2型を使用した1993年以降はすべて20mm台であった。

カツオ幼稚魚の採集結果を5年分まとめて昼間（6時から18時まで）と夜間（18時から6時まで）で比較した。昼間は合計220回（全体の44.3%）の曳網を行った結果、4258個体（63.3%）が採集され、1時間曳網あたり採集個体数は19.4個体、出現率は50.9%であった。夜間には合計277回（全体の55.7%）の曳網により2466個体（36.7%）が採集され、1時間曳網あたり採集個体数は8.9個体、出現率は45.5%で、昼間に比べると出現率ではあまり差がなかったものの1時間曳網あたり採集個体数では昼間の約半分（46%）と少なかった。体長組成をみると、体長モードは昼夜とも10-19mmクラスで一致していたが、体長範囲（平均±標準偏差）は昼間が5.5-81.8mm（22.7±9.5mm）に対して夜間が8.1-171.6mm（26.0±18.5mm）で、体長100mm以上の幼魚は夜間においてのみ採集された（図2-7）。カツオ幼稚魚が1回の曳網で採集された個体数を7クラス（0,10個体未満,50個体未満,100個体未満,500個体未満,1000個体未満,1000個体以上）にわけて頻度分布を作成したところ、昼夜とも個体数が多くなるほど頻度が低くなる傾向が認められた（図2-8）。カツオ幼稚魚が全く採集されなかった曳網点は昼が49.1%、夜間が54.5%で、1個体以上の採集があった曳網点の割合はほぼ同じであった。昼間には1曳網で500個体以上の採集が2回あり、その時の採集個体数は760および1163個体であったが、夜間の1曳網での採集個体数は最大でも349個体にとどまった。

時間帯別にカツオ幼稚魚の採集結果を比較してみると、6-10時は曳網回数が最少で採集個体数は最多であったため1時間曳網あたり採集個体数では113.0個体

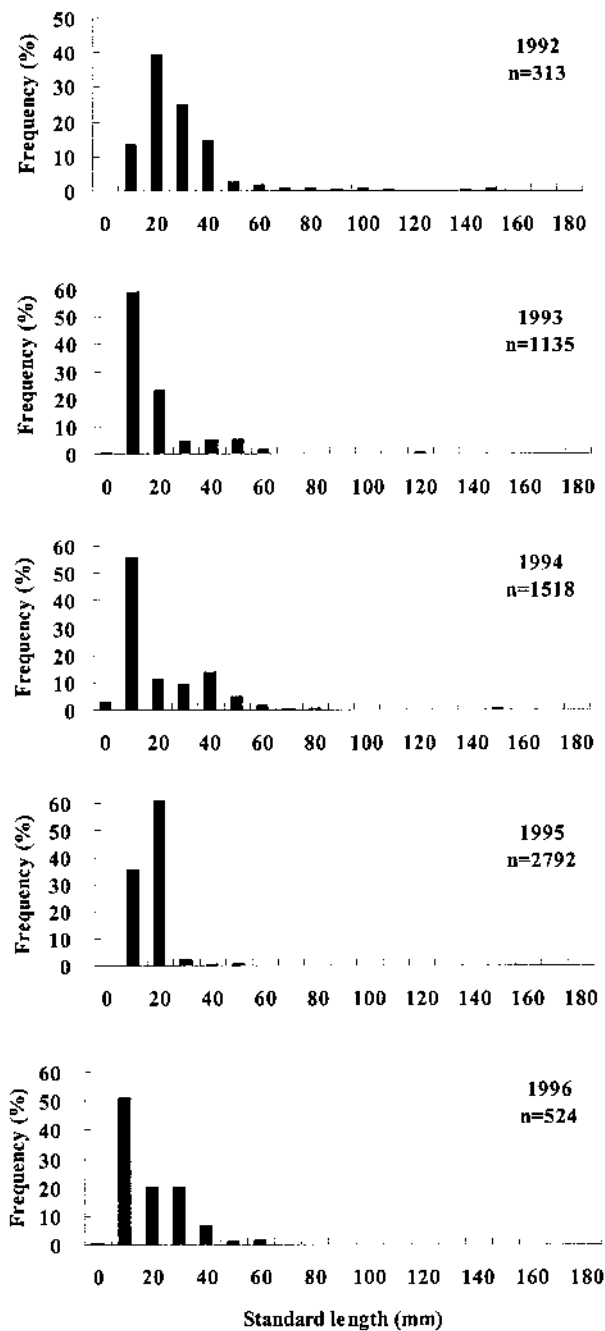


Fig. 2-6a. Length-frequency distribution of *Katsuwonus pelamis* collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. TANSYU-1 was used at 1992; TANSYU-2 was used from 1993 to 1996 cruises.

と他の時間帯に比べて著しく多かった(図2-9)。このあとの朝10時から深夜2時の1時間曳網あたり採集個体数は7.6 - 11.0個体と時間帯による差が小さかったが、深夜から夜明けにあたる2 - 6時には1.2個体と顕著に低かった。時間帯別の出現率では2 - 6時が21.7%と最も低い値を示したが、その他の時間帯では46.5 - 54.0%であった。

曳網速度別にカツオ幼稚魚の採集結果を比較する

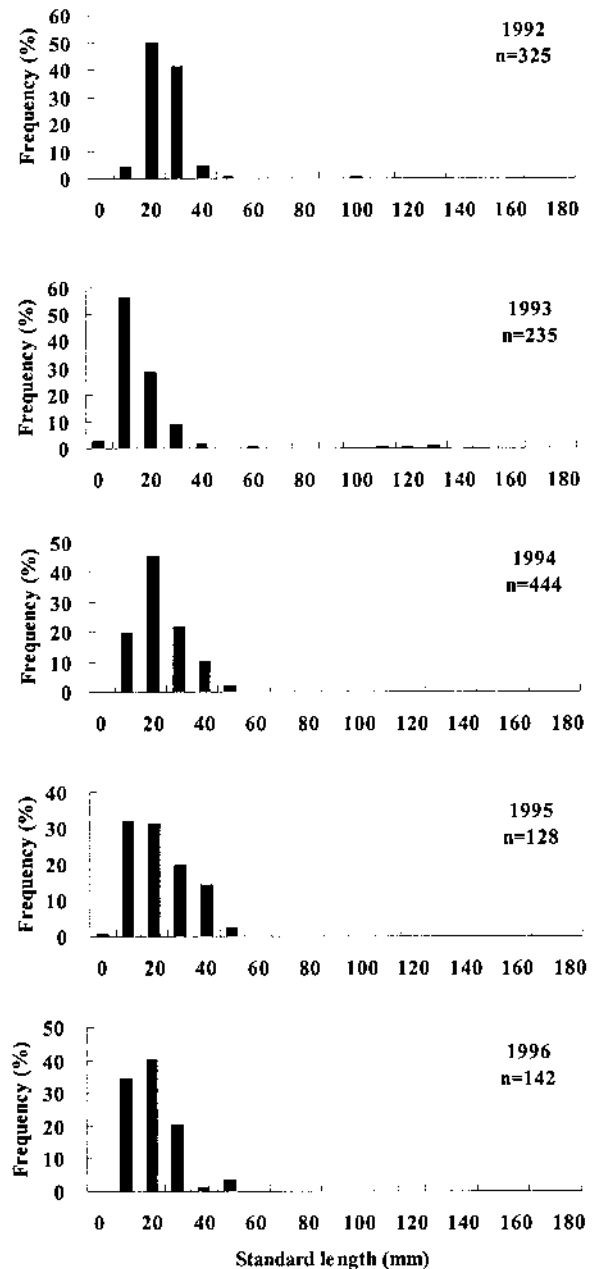


Fig. 2-6b. Length-frequency distribution of *Thunnus* spp. collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. TANSYU-1 was used at 1992; TANSYU-2 was used from 1993 to 1996 cruises.

と、昼間は曳網速度が最も速い5 - 5.5ノットで最大の採集結果が得られたが、これとは対照的に夜間は曳網速度が遅いほど採集個体数が多くなる傾向が認められた(図2-10)。しかしながら、出現率と曳網速度との関係では昼夜の違いが不明瞭であり、昼間には5.5ノットと3.5ノットで最大値72.7%を示し、夜間には5.5ノットで最大(66.7%)となった。3ノットでは、昼夜ともに採集することは出来なかった。

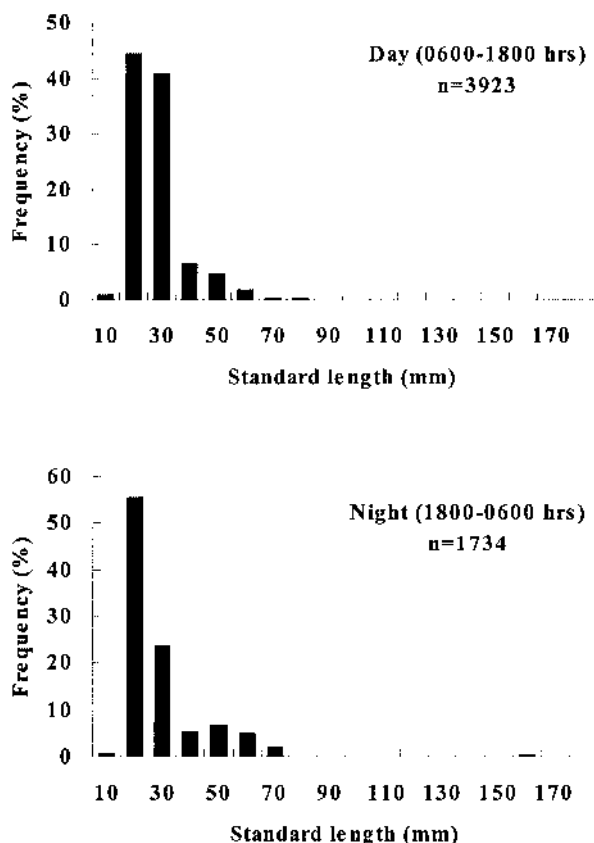


Fig. 2-7. Length-frequency distribution of *Katsuwonus pelamis* for daytime (top) and night (bottom) specimens collected by the TANSYU-2 in the tropical western Pacific from October to December 1993 - 1996.

カツオ・マグロ類以外の採集生物

TANSYU-2型を使用して採集したカツオ・マグロ属幼稚魚以外の生物のうち、1993年の標本については無作為抽出により一部を取り出し、可能な限り種査定を試みた。ハダカイワシ類については東京大学海洋研究所、それ以外の魚類については千葉県立中央博物館、頭足類については国立科学博物館において同定がなされた。各年における1時間曳網あたりの平均総漁獲量は、昼間が1.6 - 6.8kg、夜間が4.8 - 9.4kgであった。昼間はカタクチワシ科のタイワンアイノコなどパッチ状の群集を形成する表層性魚類が採集された場合には、100kg以上の漁獲が見られることもあったが、それ以外の漁獲量は1kg以下の場合が多かった。夜間はハダカイワシ科魚類を中心として、オキアミ類、エビ類、頭足類など、日周鉛直移動性の動物群が中心となった。

中層トロール網以外の漁具による採集結果

1992年の航海において、調査開始後の早い段階から中層トロール網により目的としたカツオ幼稚魚が採集可能であると判断されたため、中層トロール網を用いて新たなカツオ幼稚魚採集法の確立を目指すことと

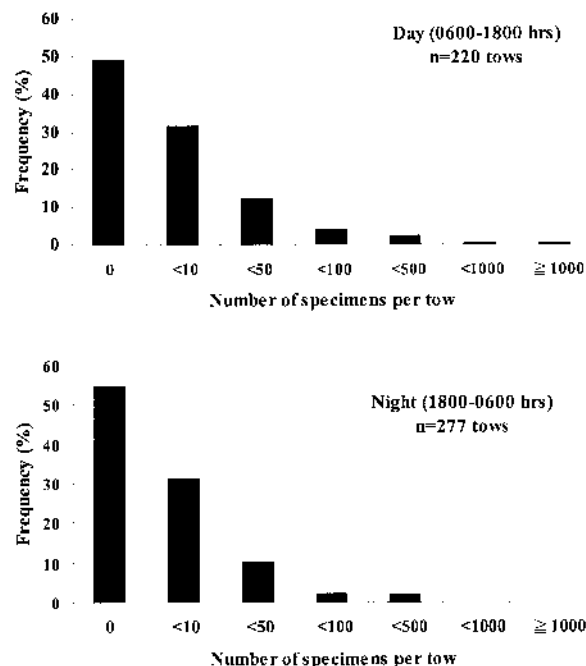


Fig. 2-8. Frequency distributions of number of skipjack tuna for daytime (top) and night (bottom) specimens collected by 1-hour tow of the midwater trawl net in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996.

し、これ以外の漁具による幼稚魚採集は行わなかった。ただし、曳き縄については午前6時から11時までの航走時に使用し、採集されたカツオ・マグロ類の胃内容物としてのカツオ幼稚魚の出現状況を調べた。5年間の調査を通じて、カツオ90個体(尾叉長32.0 - 76.0cm)、キハダ120個体(尾叉長25.6 - 58.6cm)、メバチ15個体(尾叉長39.0 - 49.6cm)が採集され、このうちカツオ幼稚魚を捕食していたのは、カツオ2個体とキハダ1個体だけであった。

考 察

パラオ・ミクロネシア周辺の西部太平洋熱帯海域において5年間の採集活動の結果、TANSYU型中層トロール網がカツオ稚魚に対してはこれまでの採集法よりも有効であると判断された。ここでは本研究を通して得られたカツオ幼稚魚の採集法に関する新たな知見の意義について考察するとともに、この分野において解決しなければならない課題が残されている点についても言及する。

TANSYU型中層トロール網によって採集されたカツオの大きさは5.5 - 171.6mmSLであり本種の生活史段階では後期仔魚から幼魚期に相当し、研究史で述べた既存の採集法では得られなかった広い範囲をカバーしている。特に体長10mmを越えて仔魚期から稚魚期に移行した後のカツオは、これまでに用いられた小口径

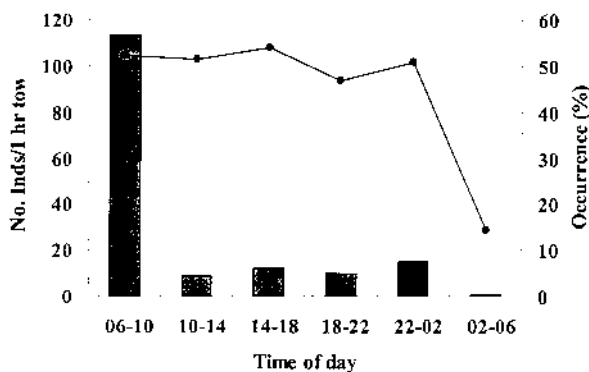


Fig. 2-9. Diel change in frequency of occurrence () and number of specimens collected by 1-hour tow of the TANSYU-2 () for skipjack tuna in the tropical western Pacific from October to December 1993-1996. Depths of the sampling were conducted in 0-300m.

のネット類ではごくまれに採集される程度であったが、TANSYU 型中層トロールでは5年間で採集されたカツオ6724個体のうち、99%の個体が体長10mm以上であり、これまでの採集具による採集結果との違いが明確に示された。TANSYU 型中層トロールでの1回の曳網によるカツオの最大採集数は1163個体と多く、カツオの初期生活史における分布や成長を明らかにするために十分な採集量を得ることができた。これまでに用いられたトロールネット類と比較した TANSYU 型中層トロールの特徴は、口径が大きいことと曳網速度が速いことであり、これらが高度な遊泳力を備えたカツオに対して当初の想定通り効果的に作用したものと推定された。

本研究で得られたカツオ幼稚魚の採集データを解析することにより、彼らの生態的な特性を知ることができる目途がつき、第3章以降に述べる幼稚魚の分布、摂餌、成長といった生態学的研究の進展に結びついた。曳網速度別に昼間と夜間の採集結果を解析した結果から、カツオ幼稚魚の効果的な採集を行うためには昼間は曳網速度を5-5.5ノット程度の高速にし、夜間はこれよりも遅い3-3.5ノット程度に調節する必要があることがわかった。これはカツオ幼稚魚における昼夜別の行動の違いにより解釈される。すなわち、昼間は彼らの視覚が作用して活発に遊泳行動あるいは成群行動を行うため、採集するためにはできるだけ曳網速度も速くする必要がある。一方、視覚の働かない夜間には彼らの行動も鈍るため、曳網速度を遅くしても採集することができたと考えられる。曳網時刻別にカツオ幼稚魚の採集結果を解析した結果によると、1曳網で500個体以上の採集があった2点はいずれも7-8時台の早朝であり、これとは対照的に深夜～夜明け前後の2-6時にはもっとも採集量が少なかった。Higgins

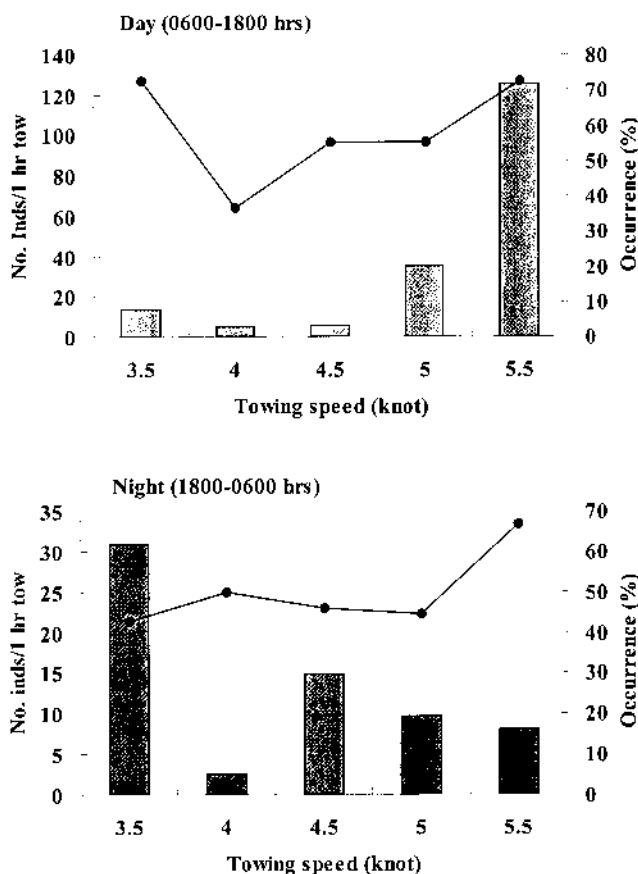


Fig. 2-10. Change in frequency of occurrence () and number of specimens of skipjack tuna collected by 1-hour tow () at various towing speeds of the TANSYU-2 for daytime (top) and night (bottom) in the tropical western Pacific from October to December 1993-1996.

(1970) は、効率的なカツオ稚魚採集のためには夜明け前から早朝にかけて表層での曳網を行うことを提唱したが、本研究結果では夜明け前と早朝における採集結果は大きく異なっていた。これは Higgins (1970) が用いた中層トロール網は本研究の TANSYU 型トロールに比べて規模が小さく、両者の採集特性の違いに起因すると考えられる。カツオ幼稚魚の分布生態に関してはこのあと第3章で詳しく述べるが、時間帯ごとの採集結果から、カツオ幼稚魚に日周期的な行動パターンが存在するものと考えられる。すなわち、視覚の作用する夜明け後にはカツオ幼稚魚は強い成群性を発揮して摂餌など活発に行動するため、TANSYU 型中層トロールが幼稚魚の群に遭遇した場合には数100個体以上の採集結果が得られる。これに対して、日没後の視覚が働かない夜間には成群性が弱くなることにより個体間の距離が大きくなるため、カツオ幼稚魚の採集個体数も少なくなることが考えられる。深夜から夜明け前にあたる2-6時には、カツオ幼稚魚の成群性が最も弱くなり、その結果採集個体数が最低となったと考えられる。カツオ幼稚魚の水深別の採集結果を

みると、最も多くの幼稚魚が出現したのは40 - 120mであり、彼らの生息水深がこの層を中心としていることをうかがわせた。この層は本研究海域において昼夜鉛直移動を行うハダカイワシ類などの魚類、オキアミ類・十脚目甲殻類、頭足類を中心とした生物量が最も多い水深層と一致しており、熱帯域の外洋表層域における生態系を考える上でも興味深い。

これらカツオの初期生態研究法上の新知見とともに、今後の研究発展を期する上での課題として、定量性に関する知見を中心として今回の採集結果を検討してみたい。定量採集を行う上で最も問題となるのが、対象生物の漁具からの逃避と逸出であり、遊泳能力の高い生物ほどこの問題は深刻である。しかしながら、逃避率や逸出率を正確に算定することは困難であるため、昼夜における採集結果の比較などから推察するしかないのが現状である。1時間曳網あたりのカツオ幼稚魚の採集個体数を頻度分布で表してみると、昼夜とも採集個体数の少ないクラスほど頻度は高い(図2 - 8)。仮にカツオの逃避能力がTANSYUの採集結果に影響を及ぼしていたとすれば、昼間より夜間の採集個体数が多くなり、夜間には採集個体数が多いクラスの頻度が高くなることが予想される。しかしながら、本研究結果から見る限り、TANSYUの採集能力は少なくとも稚魚期のカツオの逃避能力を上回っていたと判断され、この頻度分布はカツオの分布を定性的に反映した結果であると推察される。一方、TANSYUの網目は最前部が1000mmと大きく、前方の網目では小型魚の逸出が起こっていた可能性があるが、この割合については本研究結果からは推定することができない。網目の荒い部分では、昼間には対象魚に対する視覚的脅し、いわゆる駆集効果により魚を網内に追い込むが、夜間は見えないので網目からの逸出率が高くなることも推察される。このような逸出率は、曳網速度を速めれば高くなることが予想され、これは夜間の採集効率が高速(5ノット以上)になると低くなるという本結果をよく説明する。網目からの逸出率を推定するためには、身網よりも目合いの小さいポケット網を身網の外側に取り付け(手島ら 1993)、そこへの入網状況から推定する方法が考えられるが、カツオのように遊泳力の高い魚種では遊泳行動を十分に把握しておく必要があり、今後の幼稚魚の行動学的な研究の進展が望まれる。また、体長組成の昼夜比較によって示されたように、稚魚においては逃避の問題はないと見られるが、体長100mmを超える幼魚においては、夜間にしか採集されなかったことおよび採集個体数が少なかったことにより、網口からの逃避の問題が残されていると考えられる。この問題の解決策の1つとして、より大型の中層トロール網を用いることも考えられるが、水

産庁漁業調査船開洋丸によって1998年春季に行われた開口部直径約60mの中層トロール網を用いた採集試験では、体長100 - 300mmのカツオ幼魚は採集できなかった(田邊ら 未発表)。幼魚期の採集法が確立されれば、本研究で確立された稚魚期、既存の小型ネット類が使用できる仔魚期、漁業による採集結果が利用できる未成魚・成魚期、と生活史の全段階にわたって有効な採集法が確立されることになる。

採集法の確立とは、単に捕獲対象とする海洋生物に対してどの漁具を用いるかという点だけでなく、その漁具を調査海域においてどのようなサンプリング計画のもとで運用するか、という点もあわせて検討されなければならない。前者は漁具の種類と仕様の選定を意味し、後者としては調査海域と時期、調査点の配置、曳網時刻、曳網水深と速度をそれぞれどのように設計するかが重要である。本研究で得られた結果から、西部太平洋熱帯海域はカツオの産卵から幼魚期にわたる初期生態研究の場として適切と考えられるが、調査時期については今後10 - 12月とは異なった時期にも採集を行い、カツオ幼稚魚の季節別出現状況を明らかにする必要がある。TANSYUを使用した場合の曳網時刻については、稚魚に対しては昼夜での逃避率の差を考慮する必要はないが、幼魚では大きく影響を受けるため夜間に曳網を行う必要がある。また、曳網速度と水深については、昼間は対水速度5ノット、夜間は4ノットを基本とし、水深40 - 120mを中心とした多層曳網が有効であると考えられる。

第3章 稚魚期から幼魚期にかけての分布生態

カツオは熱帯の外洋域を産卵場として生活史初期をこの海域で過ごす。太平洋では東部よりも西部において分布密度が高いことから(上柳 1969)、太平洋でのカツオ資源の主要な再生産場は西部熱帯外洋域と考えられている(田邊ら 1998)。熱帯域では周年にわたり北東および南東貿易風が卓越し、これらをエネルギー源とする北赤道海流および南赤道海流が高温の表層水を西側に集積するため、通常年では東部よりも西部の広範な海域での水温が高い。そのため、西部太平洋ではカツオ仔魚の出現する表面水温25℃以上の海域が35°Nまで広がり、仔魚の水平分布も東部太平洋から西部太平洋にかけて南北方向に広がっている。西部太平洋熱帯海域では、カツオ仔魚が周年にわたって出現することから(西川ら 1985)、いくつかの親魚群が広大な海域を移動しながら連続的に産卵活動を行っていると考えられる(Hunter *et al.* 1986, 永沼 1979)。熱帯外洋域では、水温・塩分、海流などの物理環境と餌生物プランクトンを初めとした生物環境

の季節変動が比較的少なく、このことがカツオの周年にわたる再生産活動にとって有利な条件となっている。本種は周年高水温が維持されるこの海域の環境特性に適應することにより、外洋生態系の中で高次捕食者としての地位を確立し、低緯度から中緯度までの広大な海域に生活圏を拡大することができたと考えられる。

カツオの成長段階ごとの水平・鉛直分布特性を調べることは、本種がいつ、どこで、どのような生活をしているのか、という最も基本的な生態を明らかにすることにつながる知見である。高度回遊性のカツオの稚魚期から幼魚期は、仔魚期を終えて鱭や骨格の発達とともに遊泳能力を急速に増大させることにより、行動範囲を拡大していく段階にあると考えられる。カツオにとって生活史の中で稚魚期から幼魚期が生態学的にどのように位置づけられるかという点を明らかにするために、この時期の分布生態を詳しく調べる必要がある。第1章の研究史で詳しく述べたように、稚魚期への移行期前後から幼魚期にかけての分布生態については、断片的な知見しか明らかにされておらず、彼らがどこでどのような生活をしているのかはほとんど不明である。その原因として、カツオ幼稚魚のもつ卓越した遊泳能力により採集が困難であったことが挙げられる。

本研究では、新たに確立された中層トロール網によるカツオ幼稚魚採集法を利用することにより、1992年から主要な生息海域とみられる西部太平洋熱帯外洋域において大規模なカツオ幼稚魚分布調査を実施し、本種の稚魚期から幼魚期における水平的、鉛直的な分布特性を調べた。西部太平洋熱帯海域は、研究史で述べたようにカツオ仔魚の分布密度（上柳 1969, 西川ら 1985）やマグロ・カジキ類の胃内容物としてのカツオ幼稚魚の出現量（森 1972）が東部太平洋に比べていずれも大きいことが知られており、年間を通じて絶えず再生産が行われ幼稚魚が成育しているものとみられることから、本種の稚魚期から幼魚期にかけての分布生態に関する研究海域として最も適した海域であると判断した。

材料および方法

調査時期、調査海域および調査船

1992年から1996年までの5年間にわたり、毎年10月下旬から12月中旬にかけて52 - 53日間の調査航海を、パラオ諸島の東沖からボナベ島西沖までのマイクロネシア周辺海域（0 - 20°N, 130 - 160°E, 第2章図2 - 2参照）内のパラオ共和国およびマイクロネシア連邦共和国200海里経済水域と公海域において実施した。

調査船として1992 - 1993年には兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但州丸（444トン）を、1994 - 1996年には山口県立水産高等学校の漁業実習船青海丸（403トン）を使用した。両調査船とも2層甲板式の船尾トロール船であり、大規模な中層トロール網を曳網することが可能であった。

採集方法

本研究の調査航海では、TANSYU型中層トロール網を使用してカツオ幼稚魚の採集を行い、稚魚期から幼魚期にかけての分布生態に関する情報を収集した。TANSYU型中層トロール網は、第2章で記載したように遊泳能力の優れたカツオ幼稚魚の大量採集を目的として開発された高速曳網型の大規模中層トロール網であり、その開口部直径は高さ、幅ともに約20m、全長71.6mで、最大曳網速度は5ノットである（Tanabe and Niu 1998）。コッドエンドの内側には、小型稚魚の網目からの脱落を防ぐ目的で目合い8mm、長さ8.6mの内張り網を取り付けた。

TANSYU型中層トロールの曳網は、各年グアム島の西側で1次航海、東側で2次航海を行い、それぞれに7 - 14の調査定点を設けた（第2章図2 - 5参照）。採集を昼夜別に行うことにより、カツオ幼稚魚の日周的な鉛直移動を調べた。曳網水深は0 - 300mの範囲内で、原則として20mごとに各層1時間の水平曳きを実施し、幼稚魚の水平分布と鉛直分布に関する知見を収集した。中層トロールには開口部の開閉装置はないが、投網時および揚網時にはオッターボードの展開力が作用しないため網口は閉じた状態になり、サンプリング時における浅層での入網によるコンタミネーションはほとんど問題にならないと考えられる（Watanabe *et al.* 1999）。曳網中における開口部の水深と高さは、身網1段目に取り付けた漁網監視装置（Furuno FNR - 200）により常時観察しながら目的の網深度を維持するよう操船した。

揚網後、コッドエンド内張り網後端より全採集生物を計量用容器中に取り出し、全体の湿重量を計測した。その後直ちにソーティングを行い、カツオとマグロ属幼稚魚を取り出して80%アルコール中に保存するとともに、その他の採集生物についてもハダカイワシ類、カタクチイワシ類などの魚類、甲殻類、頭足類、その他の大まかな動物群に選別し、10%ホルマリン固定または冷凍保存した。

海洋物理環境要因

本研究海域内では、北側に北赤道海流、南側に北赤道反流という2つの海流系が東西方向に発達し、年間を通じて高水温が維持される海洋物理環境を特徴付け

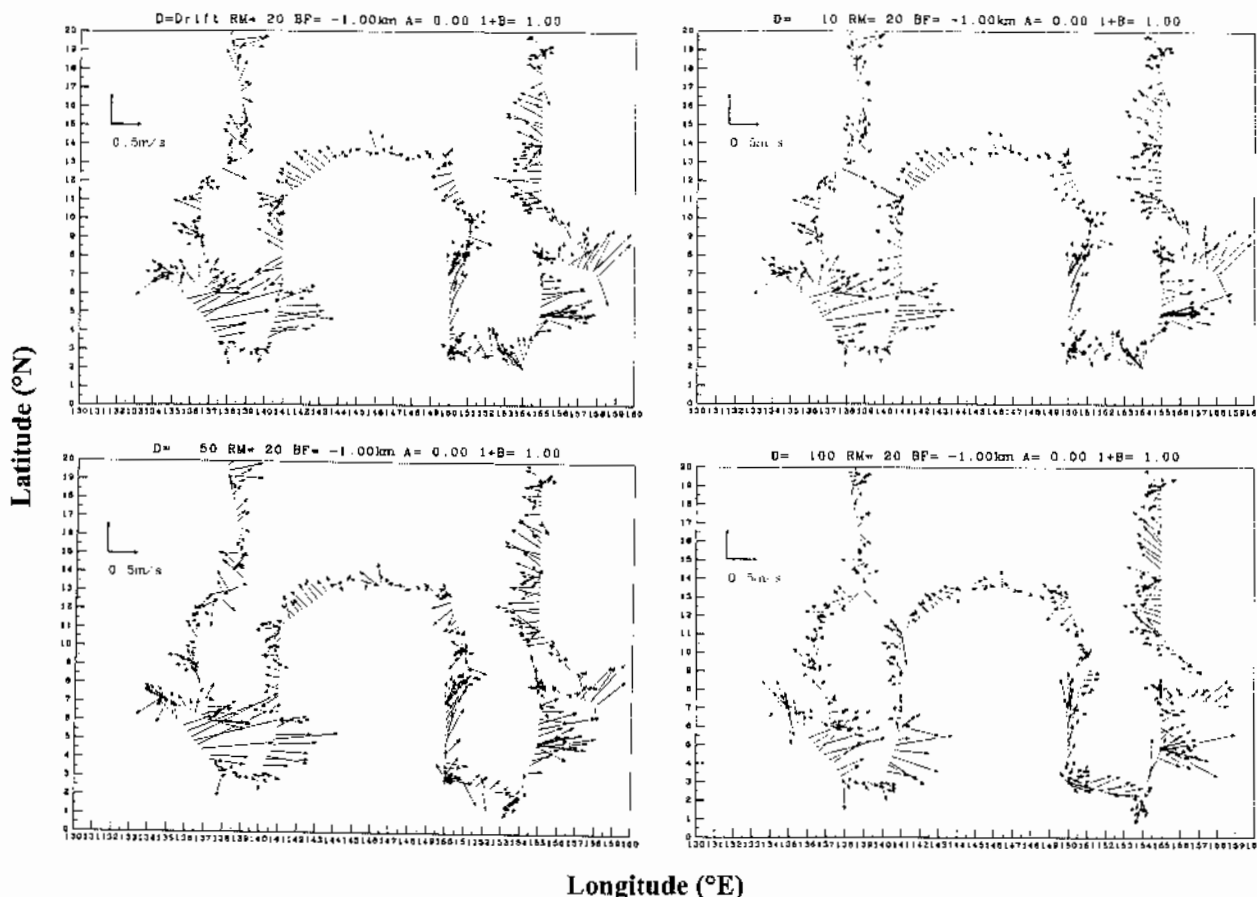


Fig. 3-1a. Distribution of the current direction and speed in the depths of 0m (top left), 10m (top right), 50m (bottom left), and 100m (bottom right) observed by an ADCP at the R/V *Omi Maru* 1995 cruise.

ている。カツオ幼稚魚がこのような海洋環境とどのように関わりながら生活しているのかを調べるために、水温、塩分および流向・流速の観測を実施した。水温と塩分の観測にはメモリー式 CTD (Seabird electronics SBE-19) を使用し、中層トロール網の投網開始位置で原則として 1 日 1 測点において海面付近から水深 1000m までの観測を行った。流向と流速の観測には潮流計 (Furuno CI-30) を使用し、水深 10m, 50m, 100m の 3 層について各観測定線上において航走中 2 分ごとに観測した。また、気象庁気候・海洋気象部発行の海洋月報を資料として用いることにより、同一時期における本研究海域での海洋観測データを補足した (気象庁気候・海洋気象部 1995, 1996)。

実験室での標本処理とデータ解析

調査航海終了後、実験室において Matsumoto *et al.* (1984) に従って実体顕微鏡下で外部形態の観察によりカツオ幼稚魚の種査定を行い、デジタルノギスを使って体長を 0.1mm 単位で、電子天秤を使って体重を 0.01g 単位で測定した。マグロ属の幼稚魚については外部形態では属レベルまでしか査定できないため、一部の

個体についてミトコンドリア DNA による種判別を行い (Chow and Inoue 1993)、カツオと同様に体長・体重測定を行った。

稚魚期と幼魚期の発育段階区分

カツオの初期生活史における発育段階区分については、第 1 章で詳しく述べたように稚魚を鰭条数が定数に達し体の各部の特徴が発現初期にある段階、幼魚を鰭条数が定数に達して体の各部の特徴が発現・完成し、種の形態的特徴が現れる段階と定義した。

結 果

物理環境要因による海域区分

ADCP により観測された表面、水深 10m, 50m, 100m での流向・流速は、観測点を起点とするベクトルの向きと長さによってそれぞれ示した (図 3-1a, b)。各点における水深別のデータを比較してみると、流速は表面から 50m までほぼ一定で 100m ではこれよりも遅くなる傾向が認められたものの、流向には水深による違いはなかった。本研究海域に存在する主要な海

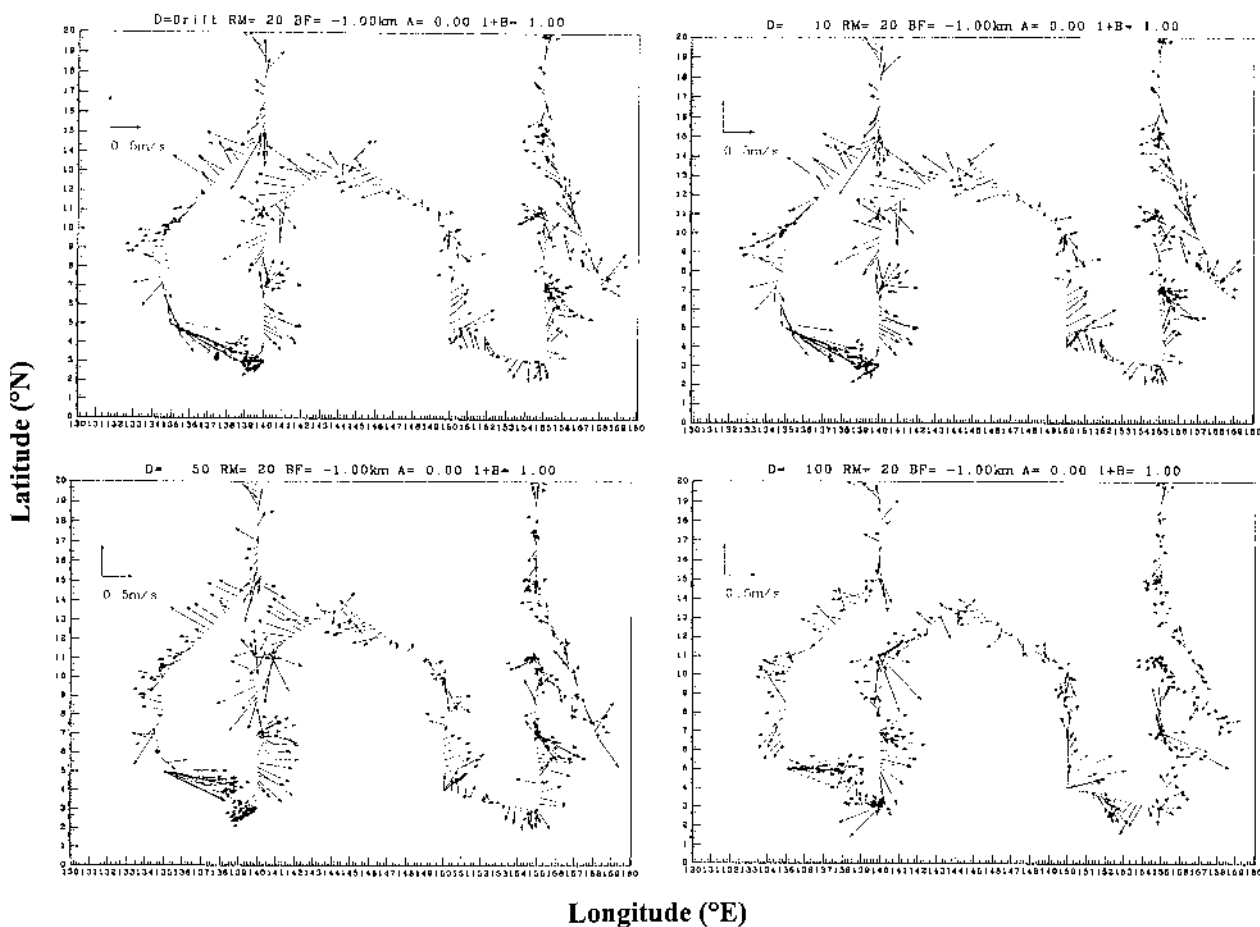


Fig. 3-1b. Distribution of the current direction and speed in the depths of 0m (top left) 10m (top right) 50m (bottom left), and 100m (bottom right) observed by an ADCP at the R/V *Omi Maru* 1996 cruise.

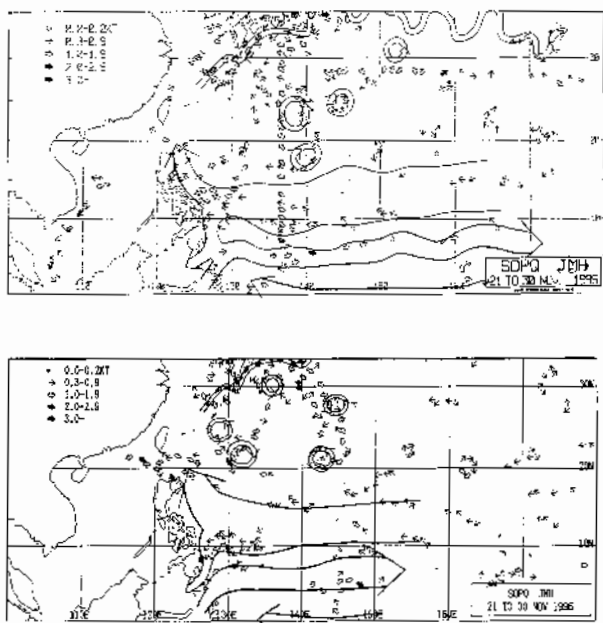


Fig. 3-2. Distribution of surface currents during late November 1995 (top) and 1996 (bottom) in the tropical-subtropical western Pacific (Referred from Japan Meteorological Agency 1995, 1996)

流は、北側の北赤道海流（西向き）と南側の北赤道反流（東向き）であった。北赤道海流は1995年には155 - 150 度にかけて11 - 16 度を西進、143 - 140 度で北西と西に向かう流れが見られ、137 度付近では西向きの流れとともに一部南西に向かう流れが観測された。1996年には157 - 155 度付近で10 - 13 度を北西に向かい、152 度付近で14 - 15 度を西進、150 - 142 度付近にかけて西南西に向かって12 度まで南下した後、141 度以西では北西に向かう流れの他、一部は南西に向かう流れに分岐していたものと推定された。これに対し、北赤道反流は1995年には136 - 141 度にかけて3 - 6 度を東進、150 度付近で4 - 7 度を北東に向かった後155 度付近で東向き、157 度付近で再び北東に向かって流れていた。1996年には135 - 140 度にかけて4 - 7 度を一部は北東方向に蛇行しながら東進、150 度付近で再び北東向きの流れが見られ、155 度 - 158 度では4 - 7 度を東向きに流れていた。これらの結果をまとめると、北赤道海流、北赤道反流ともに南北方向に蛇行する海域が見られるものの、基本的には北赤道海流は10 - 16 度を西向きに

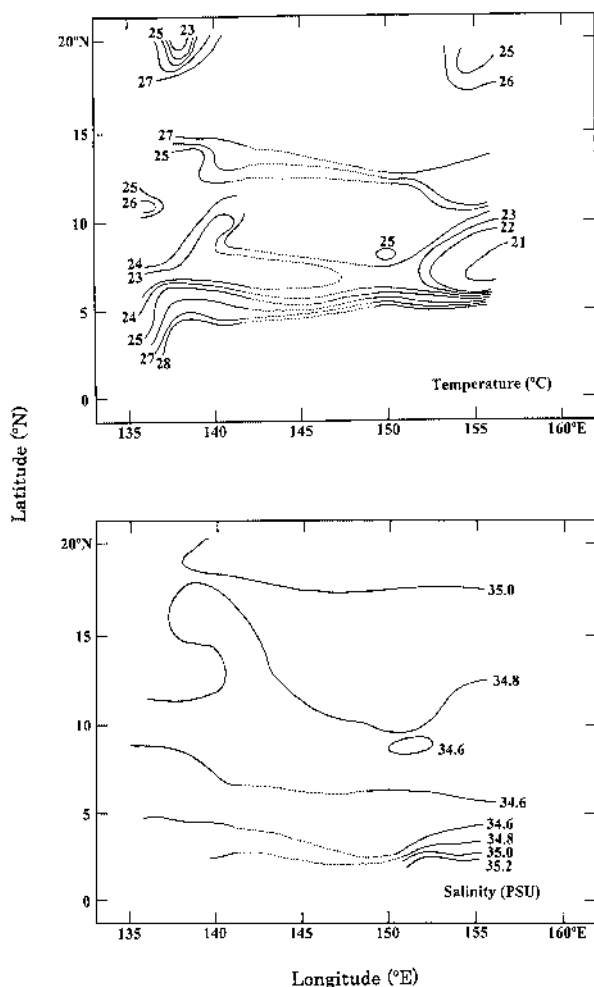


Fig. 3-3. Horizontal distribution of temperature(top) and salinity level (bottom) at 100m depth in the nursery ground of skipjack tuna. Data was based on CTD casts in October to December 1995.

流れ、北赤道反流は3 - 7°Nを東向きに流れていたと考えられる。今回観測された流速の最大値は、北赤道海流が毎秒85cm、北赤道反流が毎秒140cmであった。気象庁海洋月報1995年11月および1996年11月に掲載された北西太平洋海流図でも北赤道海流と北赤道反流のおおよその位置を知ることができ、本研究による観測結果と同様に両海流とも小規模な蛇行をとめないながら北赤道海流は西向き、北赤道反流は東向きに流れていた(図3-2)。

1995年の緯度・経度1度ごとのCTD観測による水温・塩分データをもとに、100m深での等温線・等塩分線図を作成した(図3-3)。5 - 10°Nでは、水温21 - 23°Cの低水温帯が存在し、その北側および南側に向かうほど高水温帯になっていた。塩分でも5 - 10°Nでは34.6PSUと最も低い濃度を示し、その北側および南側の海域に向かって高塩分になっていた。気象庁海洋月報の1995年11月および1996年11月の100m深水温分布によれば(図3-4)、1995年には6 - 10°N、130

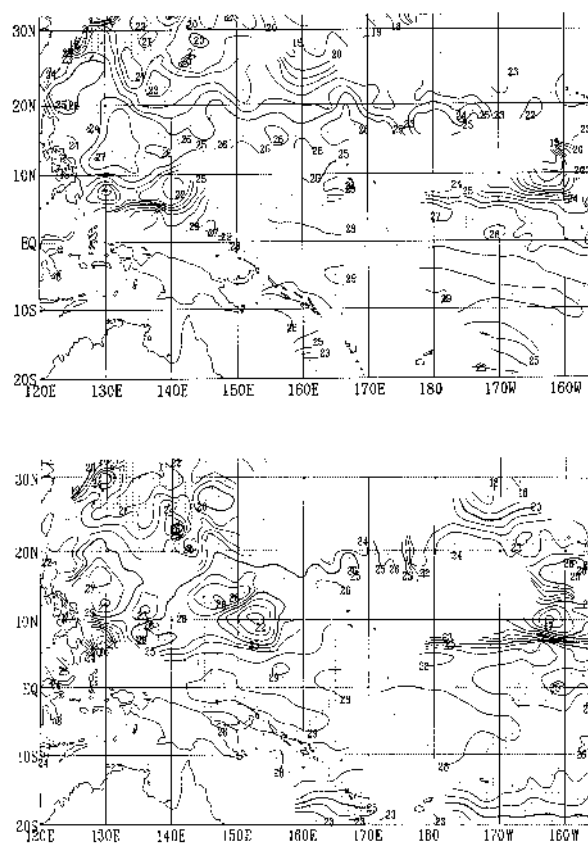


Fig. 3-4. Horizontal distribution of temperature at 100m depth in November 1995 (top) and 1996 (bottom) in the tropical-subtropical western Pacific. (Referred from Japan Meteorological Agency 1995, 1996)

- 140°Eを中心として21 - 23°Cの低水温帯が存在し、その北側と南側は25 - 27°Cの高水温帯であった。1996年には7°N、130°Eおよび10°N、153°E付近にそれぞれ20°Cと22°Cの低水温帯が見られ、それらの周辺海域は25 - 29°Cの高水温帯であった。

1995年の137°Eおよび155°Eの観測定線での水温と塩分の鉛直断面を作成すると、海洋物理的特徴が南北方向で海域ごとに異なることが明らかになった(図3-5a, b)。水温鉛直断面では、17 - 18°Nおよび3 - 4°Nを中心にその南北の海域は高水温帯が100 - 120m深まで入り込んでいたが、これとは対照的に6 - 9°Nを中心に低水温帯が表層に向かって100m深付近まで張り出していた。北赤道海流と北赤道反流の流路となっている海域では、表面から水深100mにかけて28°C以上と高温の表層混合層が形成され、その下側に水温躍層が発達していた。7 - 8°Nを中心とした海域は北赤道海流と北赤道反流の境界に位置し、下層からの湧昇によってもたらされた低水温帯が100 - 200m層に存在するため、水温躍層が顕著に現れていた。塩分鉛直断面では、どの海域も下層に向かって高塩分になる傾向が認められたが、7 - 10°Nを中心に最も塩分濃度

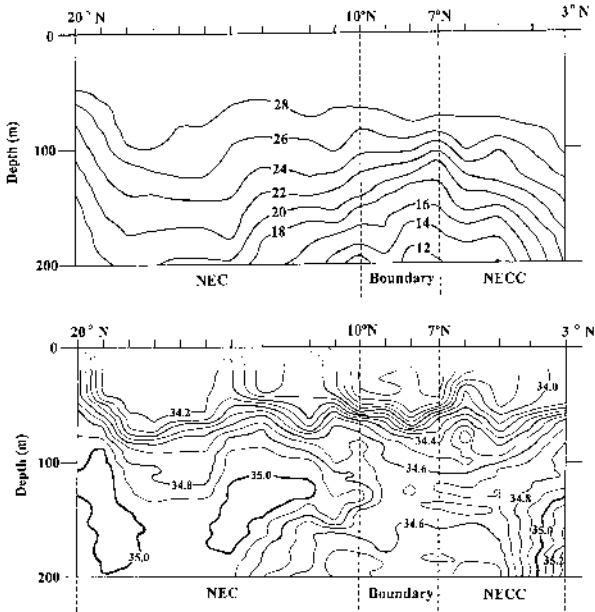


Fig. 3-5a. Vertical distribution of temperature (top) and salinity level (bottom) along 137 E cruise track based on CTD casts in October to December 1995.

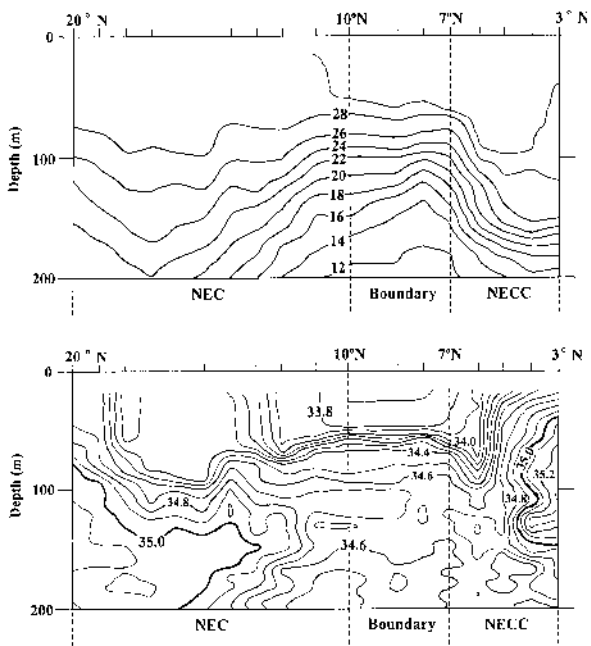


Fig. 3-5b. Vertical distribution of temperature (top) and salinity level (bottom) along 155 E cruise track based on CTD casts in October to December 1995.

の低い海域が存在した。塩分濃度35.0を超える高塩分層は、12 - 20°Nでは水深100 - 200mに、3 - 4°Nでは水深130 - 200m (137 E) または50 - 140m (155 E) にそれぞれが観測され、155 E ラインでは5 - 6°Nに顕著な塩分フロントが見られた。

本研究海域の栄養塩類の分布については、平成3年度開洋丸第1次調査航海による海洋大循環並びにアカ

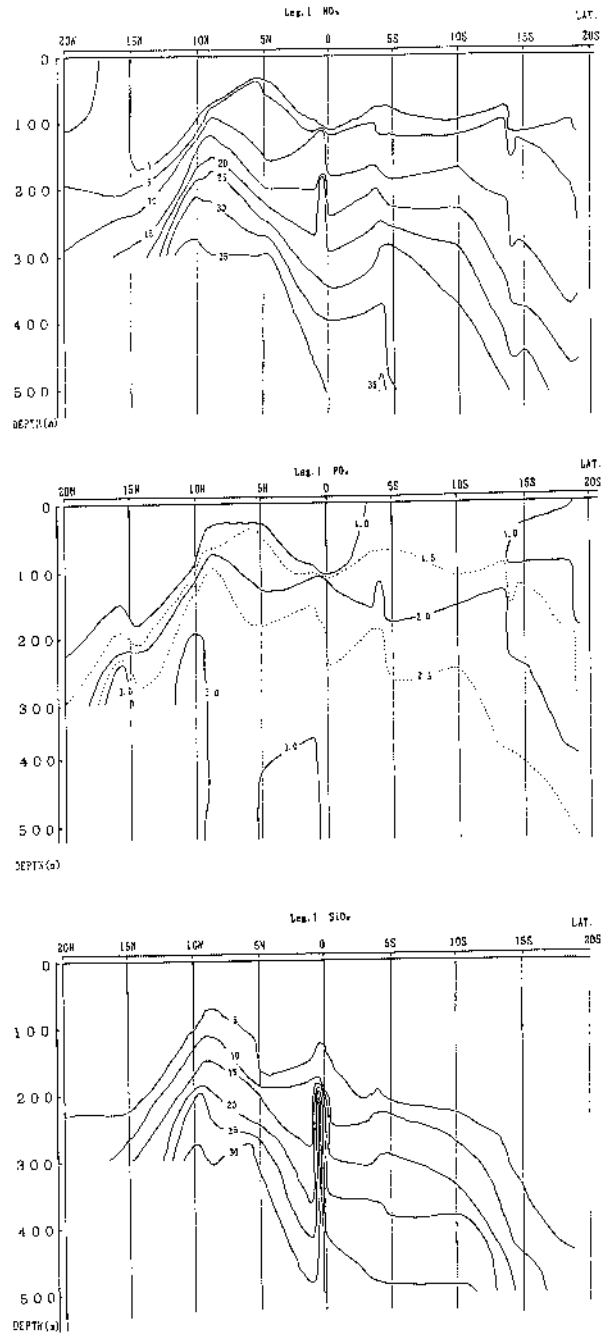


Fig. 3-6. Vertical distribution of NO₃-N, PO₄-P, and SiO₂-Si levels along 160 E cruise track based on the research cruise of R/V *Kaiyo Maru* in November 1991. (Referred from *Kaiyo Maru* 1992)

イカ調査速報の資料を参照した(図3-6)。硝酸態窒素、リン酸態リン、珪酸態珪素の南北方向での鉛直分布は、水深50m以浅の表層高水温域での活発な生物活動を通じての栄養塩類の消費による栄養塩枯渇を示しているが、6 - 9°Nでは湧昇によって栄養塩類を多く含む下層水が上層に向かって張り出している。この海域では南北の海域よりも栄養が豊富なため、クロロフィルa値も相対的に高くなっていた。

調査海域は、以上のような物理化学的環境要因の分

Table 3-1. Occurrences and densities of skipjack tuna at daytime and night by sampling areas during October to December 1992 - 1996.

Daytime (0600 - 1800)

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurrence		No. inds/1 hr tow(mean ± SD)	
		Juvenile	Young	Juvenile	Young
NEC	69	37.7	0.0	21.3 ± 103.8	0.0
Boundary	50	40.0	0.0	6.7 ± 21.2	0.0
NECC	101	65.4	0.0	24.3 ± 86.2	0.0

^{*1}NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

^{*2}Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

Night (1800 - 0600)

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurrence		No. inds/1 hr tow(mean ± SD)	
		Juvenile	Young	Juvenile	Young
NEC	68	26.5	0.0	7.5 ± 42.8	0.0
Boundary	70	31.4	0.0	5.1 ± 24.5	0.0
NECC	139	58.3	8.6	11.3 ± 34.3	0.2 ± 0.8

^{*1}NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

^{*2}Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

布構造に従って、10 - 20°N を中心とする北赤道海流域、7 - 10°N 付近の境界域、0 - 7°N を中心とする北赤道反流域に区分できる。

カツオ幼稚魚の水平・鉛直分布

1) カツオ稚魚および幼魚の水平分布

物理・化学環境要因により区分した海域別のカツオの分布量を、出現率と1時間曳網あたり採集個体数を用いて稚魚と幼魚それぞれについて昼夜別に比較した(表3-1)。5年間での中層トロールの合計曳網回数497回のうち、北赤道海流域では全体の28%、境界域では24%、北赤道反流域では48%の曳網を行った。採集されたカツオ稚魚は、合計6699個体であった。

ここで、出現率によって分布域の広がりを、1時間曳網あたり採集個体数によって分布密度を海域ごとに比較する。稚魚の出現率は、昼夜ともに北赤道海流域、境界域、北赤道反流域の順、すなわち北から南に向かって高くなった。北赤道反流域での稚魚の出現率は、北赤道海流域の1.7倍(昼間)および2.2倍(夜間)、境界域の1.6倍(昼間)および1.9倍(夜間)であった。全ての海域において、稚魚の出現率が夜間よりも昼間の方が高く、昼夜の差は北赤道海流域(11.2%)、境界域(8.6%)、北赤道反流域(7.1%)の順に大きかった。1時間曳網あたり採集個体数では、昼夜ともに北赤道反流域、北赤道海流域、境界域の順に高い値を示した。昼間は、北赤道反流域では境界域に比べて明

らかに高く($p < 0.05$)、北赤道海流域に比べても高かった。夜間には、全ての海域での1時間曳網あたり採集個体数が昼間よりも低かった。境界域での昼夜の差はわずかであったが、北赤道海流域と北赤道反流域では夜間の採集個体数が顕著に低下した($p < 0.05$)。北赤道海流域で採集されたカツオ稚魚1986個体のうち、全体の77%にあたる1532個体が1995年に1調査点(11°N, 154 - 155°E)での4曳網で採集された。1回の曳網でのカツオ稚魚採集個体数の変動幅は、昼夜および海域によらず大きかった。一方、幼魚は1992年から1994年に合計25個体が採集されたが、1995年以降は採集されず、全個体が夜間に北赤道反流域から採集された。幼魚の北赤道反流域における出現率は、同海域における稚魚の出現率の7分の1で、1時間曳網あたり採集個体数では57分の1であった。

調査年別のカツオ稚魚および幼魚の水平分布を、緯度・経度1度ごとの1時間曳網あたり採集個体数によって示した(図3-7a, b, c, d, e, f)。中層トロールの曳網位置は、経年的に北側に拡大していったが、これは第1章の研究史で述べたようにこれまでカツオの稚魚期から幼魚期にかけての採集法が確立されていなかったために、この時期の分布に関する知見がほとんどなく、当初10°N以南を10 - 12月期のカツオ幼稚魚分布域と想定していたためである。1995年および1996年の調査によって、カツオ稚魚が北赤道海流の北側および亜熱帯収斂線の南側にあたる20°N付近にも

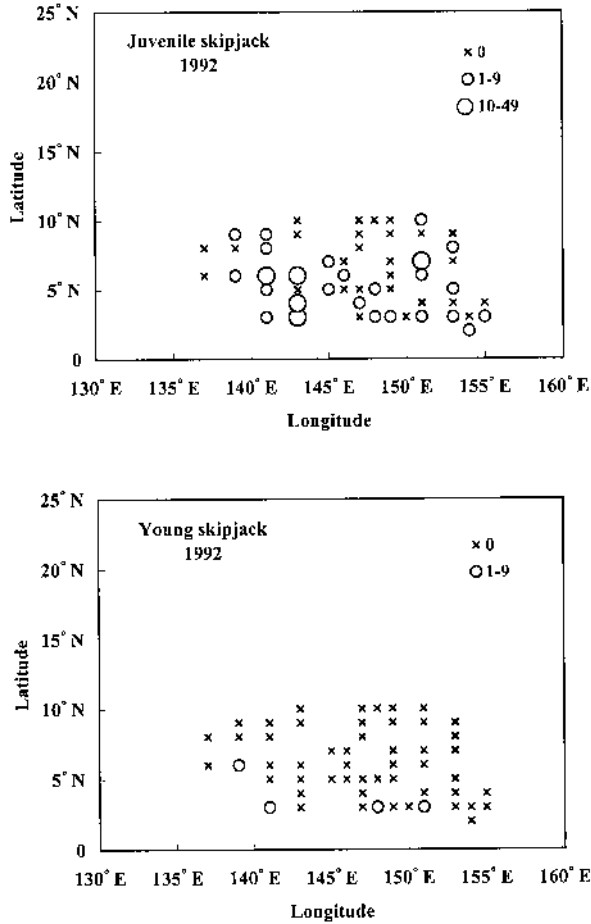


Fig. 3-7a. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1992. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

分布していることが確認され、稚魚期におけるカツオの分布域の広がり本研究海域のほぼ全体に及ぶことが明らかになった。稚魚の水平分布の特徴は、年によって異なっていた。1992年の分布図では、南北方向で見るとカツオ稚魚は6°N以南に多く分布し、7°N以北では採集されなかった点が多い。稚魚が10-49個体採集された点は7°N以南に限られ5点のうち4点が3-6°N、141-143°Eの海域にあった。東西方向で見ると稚魚は139-143°Eと151-153°Eに多く、147-149°Eで少なかった。幼魚は、6°Nと3°Nの合計4点で出現した。1993年の稚魚では、南北および東西方向で海域的な偏りが少なく、調査海域内の広範囲に及ぶ分布を示した。8°N150°Eと11°N137°Eの2点で50-99個体、8°N140°Eでは100-499個体と他の点よりも高密度な分布が見られた。幼魚は2-5°Nの合計3点に分布していた。1994年には、稚魚は北から南に向かって分布密度が高くなる傾向が見られた。こ

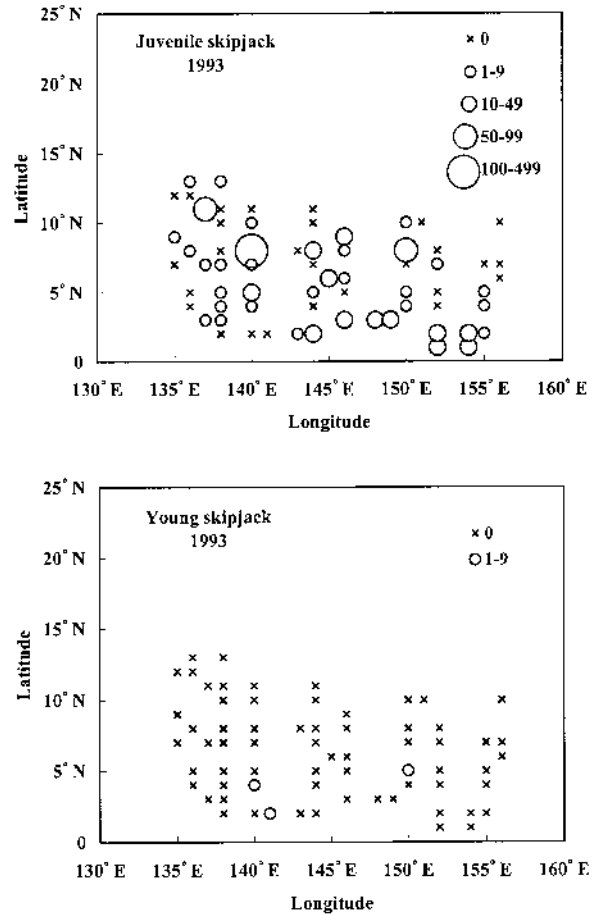


Fig. 3-7b. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1993. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

の傾向は、特に最も東側の調査定線154-157°Eにおいて顕著であった。幼魚の分布は、2°N-4°N-6°Nで1点ずつ見られた。1995年の稚魚の分布では、南北方向よりも東西方向での水平分布の違いが顕著に現れた。150°E以西では50個体以上の分布密度を示す点は出現しなかったが、154-155°Eでは100-499個体が1点、500個体以上が2点と高密度な分布域が見られた。1996年の稚魚の分布では、20°Nでも稚魚が出現し、海域的な分布の偏りは比較的少なかった。これらの結果から、西部太平洋の熱帯外洋域での10-12月期におけるカツオ稚魚の分布は、基本的には分布密度の高い海域が常に同じ場所に存在するわけではなく、年によって変動することが明らかになった。幼魚は、基本的には6°N以南の北赤道反流域を主な分布域とするが、稚魚期の分布から見て成長とともに北赤道海流域や境界域から北赤道反流域に移動してくる可能性も考えられる。

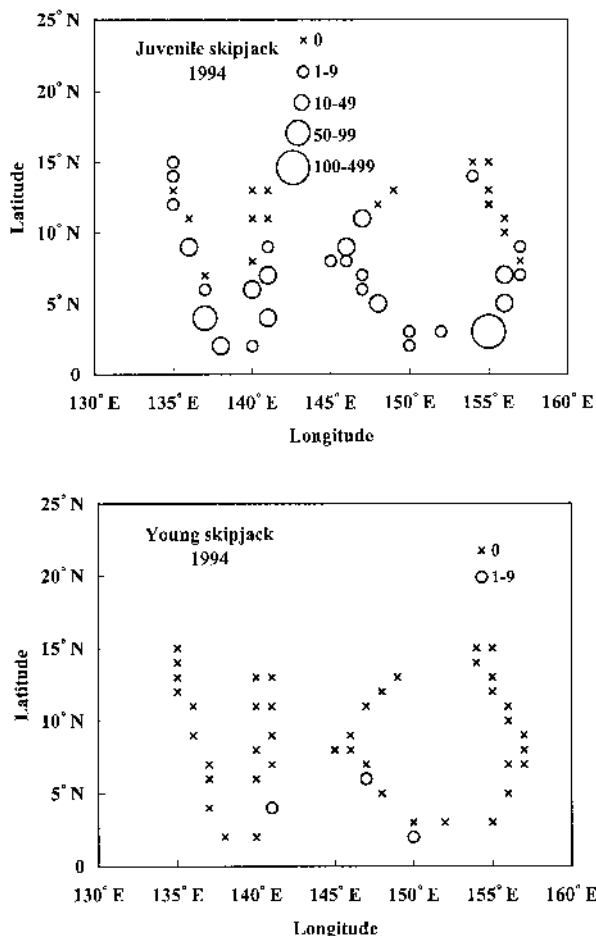


Fig. 3-7c. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1994. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

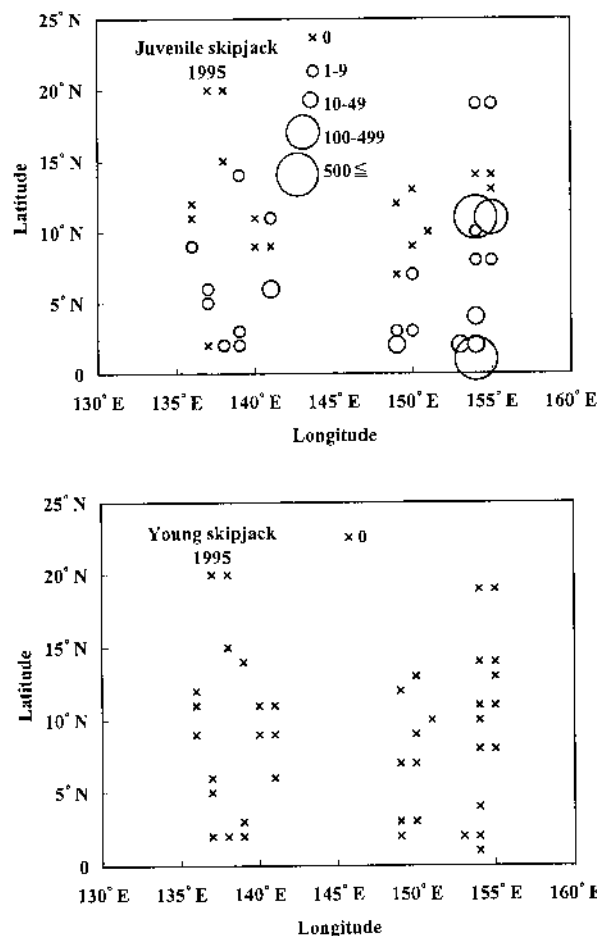


Fig. 3-7d. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1995. Abundances of skipjack () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

2) カツオ稚魚および幼魚の鉛直分布

各海域におけるカツオの稚魚期から幼魚期にかけての成長と分布水深との関係を調べるために、各個体の体長と採集された水深を昼夜別にプロットした(図3-8a, b, c, d)。北赤道反流域では昼夜ともに採集されたカツオの標本数が最も多く、体長と分布水深との関係が明瞭に示されている。すなわち、稚魚への移行期に当たる体長10mm前後では、昼夜ともに海面近くから水深200mまでの幅広い鉛直分布を示したが、体長が大きくなるにつれてごく少数の例外を除いて分布水深範囲が狭くなる傾向が見られた。特に昼間ではその傾向が明瞭に示され、体長10-40mmでは表層付近から水深220mまで出現したが、体長50-60mmでは60-140m、70-80mmでは90m付近に集中していった。夜間には昼間よりも分布水深が分散する傾向にあり、海面に近い水深40m以浅でも稚魚が多く出現するようにな

る。体長100mm以上の幼魚については、第2章で述べたように中層トロール網からの逃避による影響によって夜間にしか採集されなかったため、昼間の分布水深については本研究では明らかにできなかったが、少なくとも夜間には水深50m付近を中心とした40-100mに生息していることが明らかになった。北赤道海流域では、昼間は体長10-20mmの分布水深は表層付近から170mまでであったが、体長30-40mmになると50-130mに狭まった。夜間には、昼間に比べて分布水深が分散して体長との関係が不明瞭であった。境界域での鉛直分布は、北赤道反流域と北赤道海流域に比べて浅く、昼間は170m以浅、夜間は130m以浅に限られた。昼間は、体長10-20mmでは30-170mに分布していたが、体長30-50mmでは30-90m、体長50-80mmでは80-90mに分布した。夜間には、体長10-30mmでは30-130mに、体長30-60mmでは50-100m、体長60-70mmでは90m付近に分布していた。

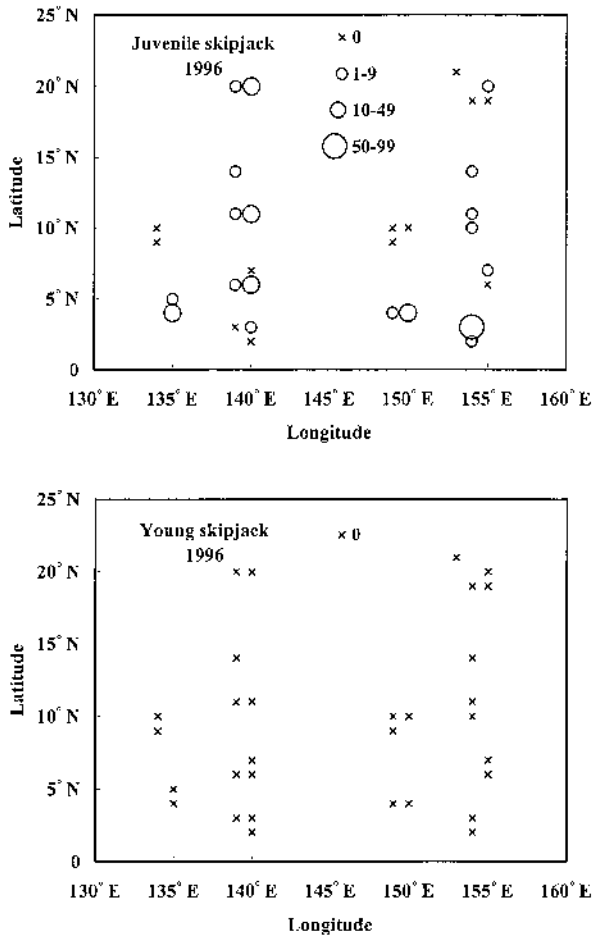


Fig. 3-7e. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1996. Abundances of skipjack (○) at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

各海域におけるカツオ稚魚の鉛直分布と水温の鉛直分布との関係を知るために、水深0 - 200mの範囲内において20m層ごとにカツオの1時間曳網あたり採集個体数と平均水温を比較した(図3 - 9)。北赤道海流域と北赤道反流域では、高水温の表層混合層が深くまで達して水温躍層が始まる水深が70 - 110mであったのに対し、境界域では表層混合層が薄く水温躍層の始まりが50m付近と浅かった。カツオ稚魚の鉛直分布は、表層混合層の厚い北赤道海流域と北赤道反流域では鉛直分布密度の最大値が、それぞれ60 - 80mと80 - 100mに存在したのに対し、表層混合層の薄い境界域では40 - 60mに最大値が見られた。これらの結果は、表層混合層の厚さおよび水温躍層の始まる水深とカツオ稚魚の鉛直分布がよく対応していることを表している。すなわち、稚魚期のカツオは、表層混合層の下部から水温躍層の上部にあたる水深層を中心として生活しているものと解釈できる。幼魚については、

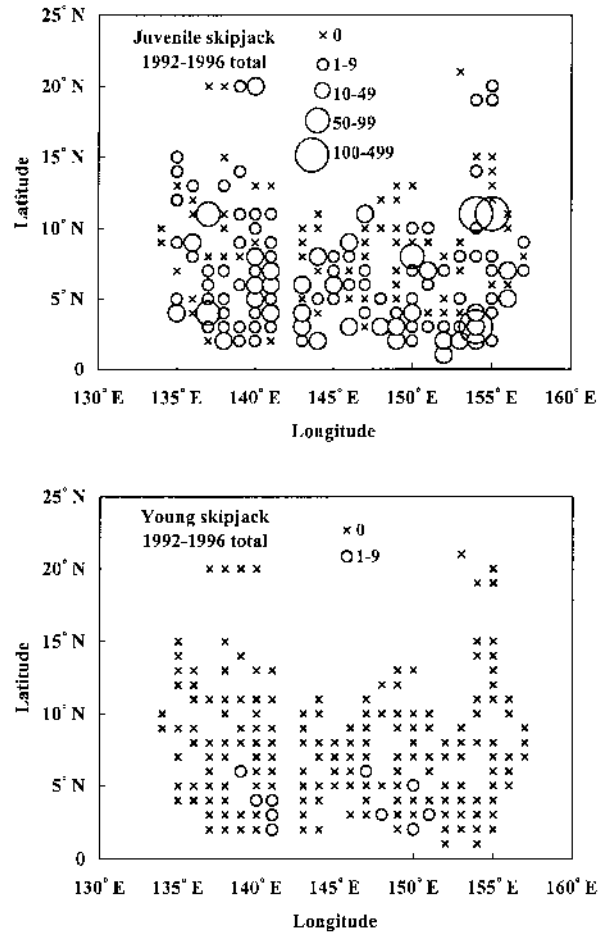


Fig. 3-7f. Horizontal distribution of juvenile (top) and young (bottom) skipjack in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. Abundances of skipjack (○) at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

採集標本数が限られていて夜間の鉛直分布データしか得られなかったが、40 - 80mを中心に分布していた。

3) 水温・塩分とカツオ幼稚魚の分布との関係

カツオ稚魚および幼魚の分布を水温別、塩分濃度別に1時間曳網あたり採集個体数によって分布密度を示すと、図3 - 10および図3 - 11のようになった。カツオ稚魚は水温11 - 30℃の範囲から出現したが、1時間曳網あたり採集個体数が10個体を超えたのは20℃、23℃、27℃および28℃であったことから、カツオ稚魚にとって最も好適な生息水温は20 - 29℃の範囲にあると見られる。一方、カツオ稚魚は塩分濃度では33.6 - 35.5PSUと広い範囲にわたって出現し、1時間曳網あたり採集個体数10個体以上は33.6 - 33.9PSU、34.6 - 34.7PSU、35.2 - 35.3PSUであった。これらの結果から、カツオ稚魚は水温と塩分の両方の物理環境に対して幅広い適応力を備えていると判断できる。幼魚は、水温18 - 29℃、

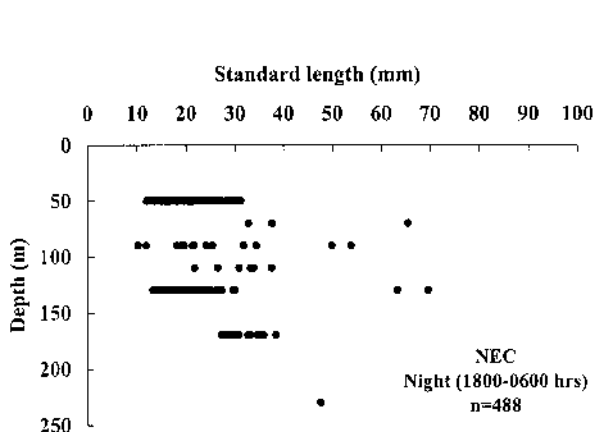
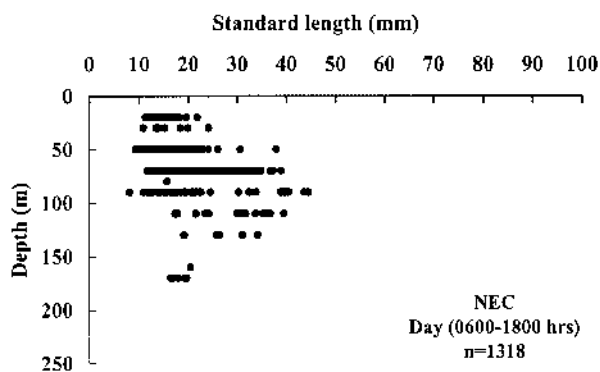


Fig. 3-8a. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the north equatorial current (NEC) area from October to December 1992 - 1996.

塩分34.4 - 35.7PSU に分布し、ピークは28℃と35.6 - 35.7PSU に見られた。

マグロ属稚魚の水平・鉛直分布

1) マグロ属稚魚および幼魚の水平分布

物理環境要因によって区分した海域別のマグロ属稚魚の水平分布を、出現率と1時間曳網あたり採集個体数により比較した(表3-2)。5年間で採集されたマグロ属稚魚の合計は1366個体で、カツオ稚魚採集個体数の20%であった。稚魚の出現率は、昼夜ともに北赤道海流域、境界域、北赤道反流域の順に北から南に向かって高くなった。北赤道反流域での稚魚の出現率は、昼間には北赤道海流域の3.3倍、境界域の1.4倍で、夜間には北赤道海流域の2.2倍、境界域の1.9倍高かった。マグロ属稚魚の出現率は、全ての海域において昼間より夜間の方が高く、昼夜の差は北赤道反流域(19.7%)、北赤道海流域(14.9%)、境界域(3.4%)の順に大きかった。稚魚の1時間曳網あたり採集個体数でも、出現率と同様に南側の海域ほど高くなる傾向を示した。北赤道反流域での稚魚の1時間曳網あたり採集個体数は、昼間には北赤道海流域の14.5倍($p < 0.05$)、境界域の2.4倍($p < 0.05$)で、夜間には北赤

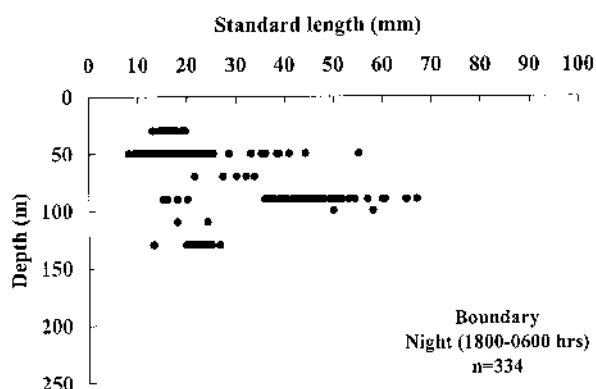
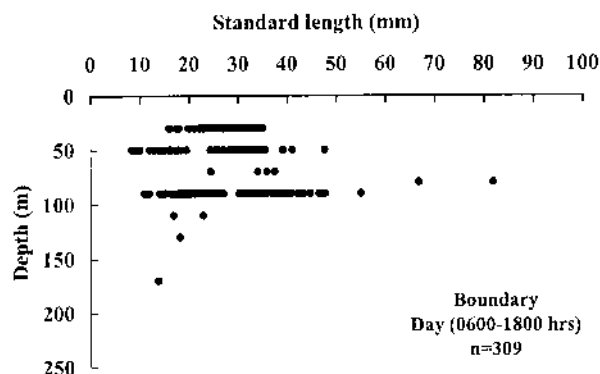


Fig. 3-8b. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the boundary area between the north equatorial current and the north equatorial counter current from October to December 1992 - 1996.

道海流域の39倍($p < 0.05$)、境界域の3.3倍($p < 0.05$)であった。全ての海域での1時間曳網あたり採集個体数で、夜間よりも昼間の方が有意に大きかった($p < 0.05$)。出現率、1時間曳網あたり採集個体数ともに顕著な南高北低型の水平分布となっており、本研究海域内ではマグロ属稚魚は南へ行くほど分布量が多いことが分かった。これらの結果から、マグロ属稚魚の水平分布は明らかに海域間で異なっており、少なくとも10 - 12月には北赤道反流域が最も重要な分布域となっていることが示唆された。

一方、マグロ属幼魚もカツオ幼魚と同様に1992年から1994年までの3年間に採集され、採集個体数は境界域での4個体と北赤道反流域での3個体、合計7個体であった。境界域と北赤道反流域におけるマグロ属幼魚の出現率、1時間曳網あたり採集個体数は同海域の稚魚と比較すると顕著に低く、この傾向はカツオの稚魚と幼魚での関係と同様である。マグロ属幼魚でも夜間にしか採集されなかったことから、成長に伴う遊泳能力の発達により昼間は漁具から逃避していた可能性が高い。

マグロ属稚魚および幼魚の水平分布を、年別に緯度・

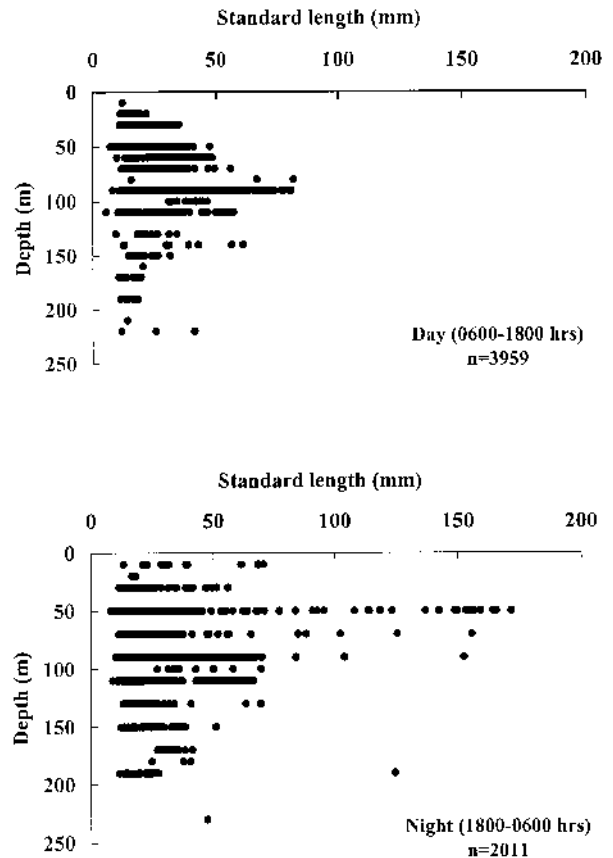
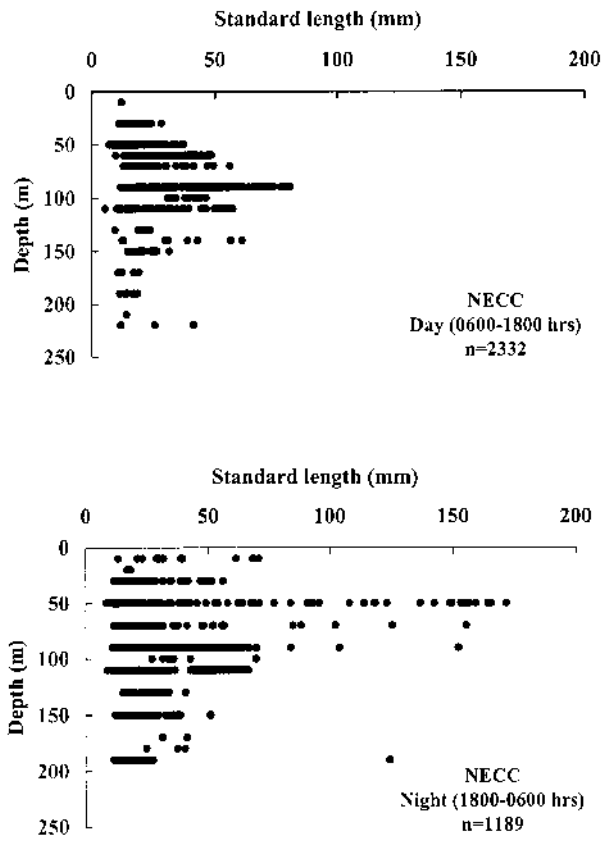


Fig. 3-8c. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the north equatorial counter current (NECC) area from October to December 1992 - 1996.

Fig. 3-8d. Changes in the distribution depth of skipjack tuna with growth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

Table 3-2. Occurrences and densities of other tuna at daytime and night by sampling areas during October to December 1992 - 1996.

Daytime (0600 - 1800)

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurrence		No. inds/1 hr tow (mean ± SD)	
		Juvenile	Young	Juvenile	Young
NEC	69	11.6	0.0	0.4 ± 1.6	0.0
Boundary	50	28.0	0.0	2.4 ± 8.6	0.0
NECC	101	38.6	0.0	5.8 ± 16.1	0.0

*¹NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

*²Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

Night (1800 - 0600)

Areas ^{*1}	No. of tow ^{*2}	Occurrence		No. inds/1 hr tow (mean ± SD)	
		Juvenile	Young	Juvenile	Young
NEC	68	26.5	0.0	0.1 ± 0.4	0.0
Boundary	70	31.4	0.0	1.2 ± 5.4	0.06 ± 0.48
NECC	139	58.3	8.6	3.9 ± 16.5	0.02 ± 0.15

*¹NEC : north equatorial current area ; NECC : north equatorial counter current area ; Boundary ; the area between the NEC and NECC.

*²Sampling depths were 0 - 300m, horizontally towed by 20m depth strata.

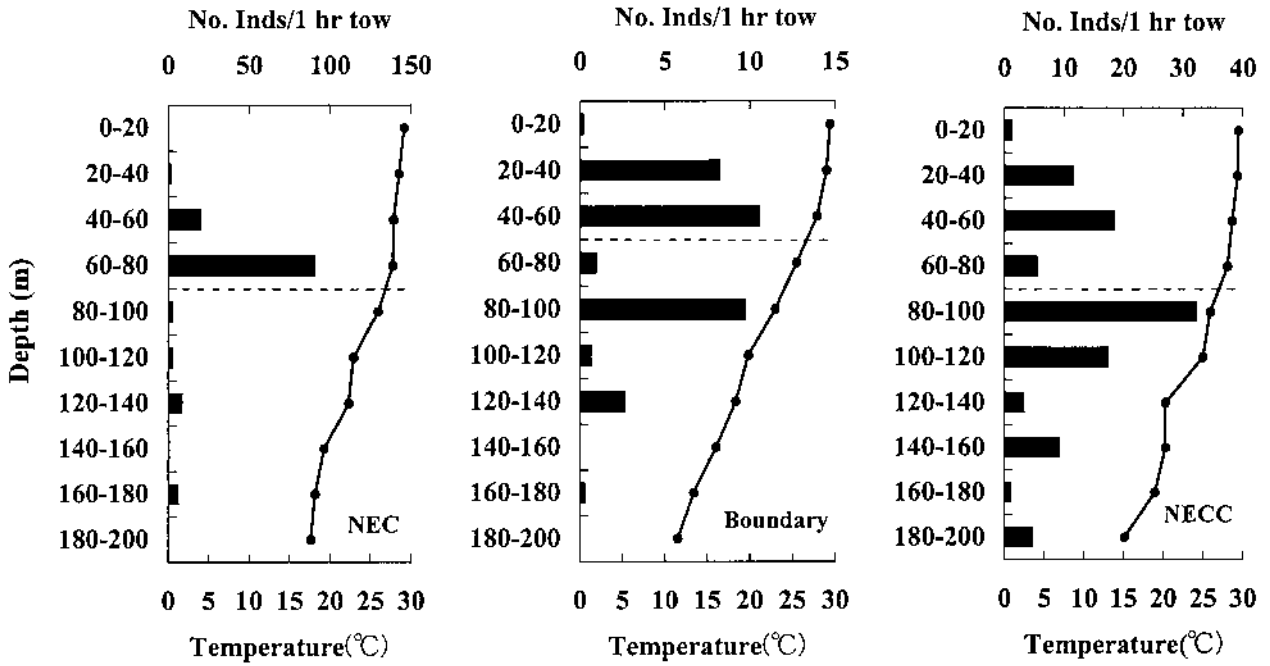


Fig. 3-9. Relationship between vertical distribution of juvenile skipjack () and mean temperature of each depth () in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996. Broken lines indicate the estimated maximum depth of the thermocline.

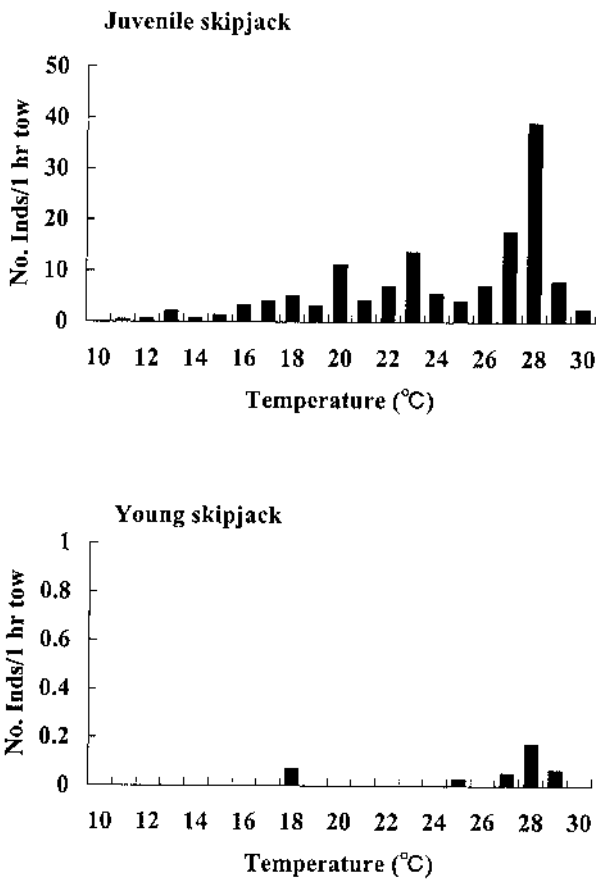


Fig. 3-10. Distribution of density for juvenile (top) and young (bottom) skipjack by temperature of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

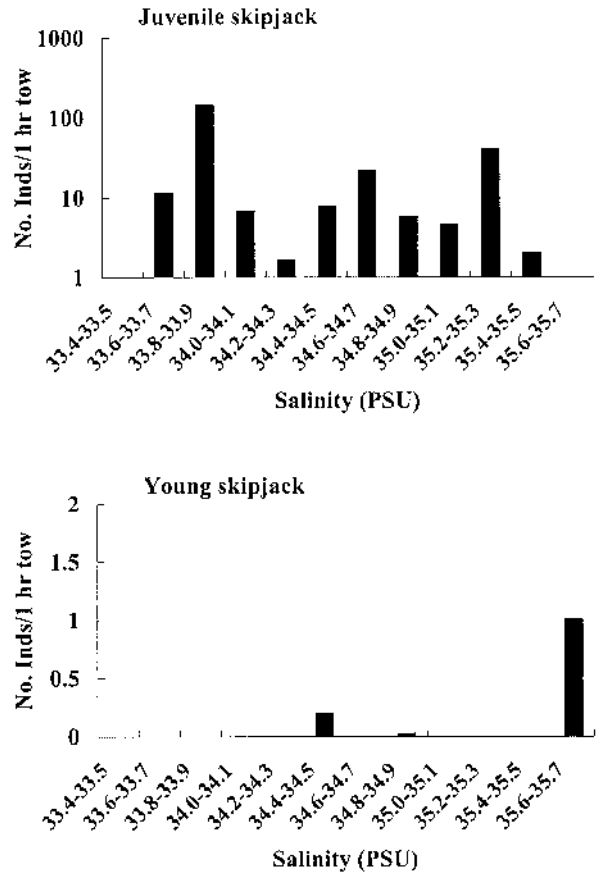


Fig. 3-11. Distribution of density for juvenile (top) and young (bottom) skipjack by salinity level of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

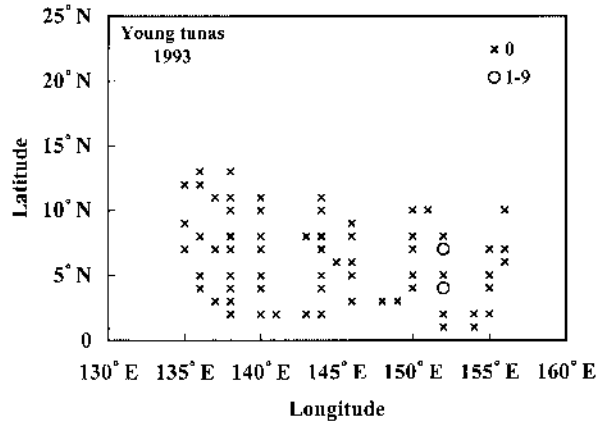
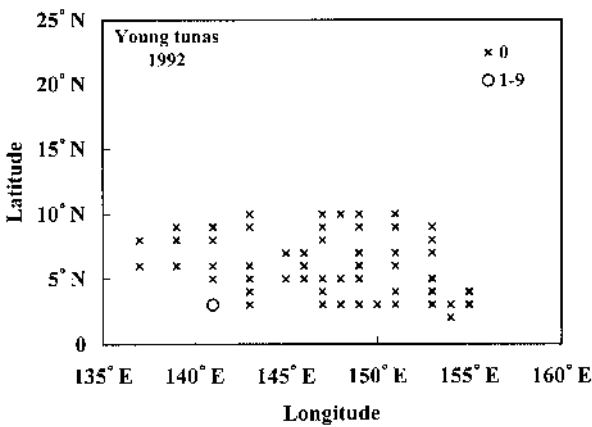
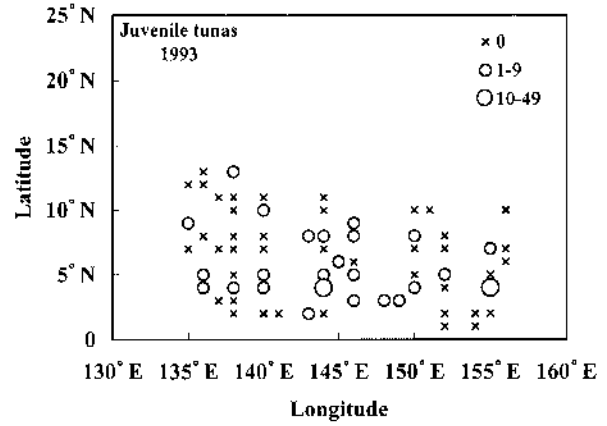
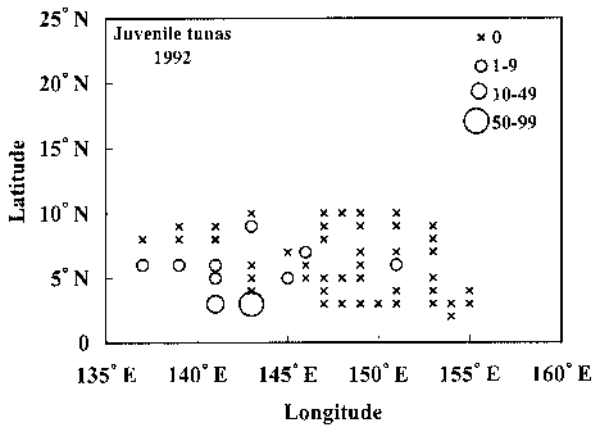


Fig. 3-12a. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1992. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

Fig. 3-12b. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1993. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

経度1度ごとの1時間曳網あたり採集個体数によって示した(図3-12a, b, c, d, e, f)。調査海域内での稚魚の分布は,年によって異なる特徴を示した。1992年には西南海域に多く,3°N141-143°Eで最も分布密度が高かったが,147-155°Eの東側海域では,稚魚の分布域は1点(6°N151°E)を除いて出現しなかった。幼魚の分布域は,3°N141°Eに見られた。1993年の稚魚の分布は,東西方向および南北方向での海域的な偏りが少なく,調査海域内で広範囲に広がっていた。分布密度では,4°N144°Eと4°N155°Eの10-49個体が最大で,50個体以上の点は出現しなかった。幼魚の分布域は,東側海域の4°N152°Eと7°N152°Eの2点であった。1994年には,稚魚の分布域は南北方向での違いが顕著に見られ,10°N以北に少なく,9°N以南の海域で多かった。幼魚の分布は,3°N155°Eの1点だけであった。1995年の稚魚の分布は,東西方向での密度の違いが顕著に現れた。最も東側の153-155°Eに

は多く分布し,136-141°Eでは散発的な分布を示した。1996年の稚魚の分布域は,東西および南北での違いが明瞭ではなく,全体の海域にわたって密度50個体未満の低い点が散在した。各年における海域的な分布パターンは,カツオ稚魚とマグロ属稚魚との間で類似していた。

2) マグロ属稚魚および幼魚の鉛直分布

海域ごとのマグロ属幼稚魚の体長と分布水深との関係を昼夜別にプロットした(図3-13a, b, c, d)。最も採集個体数の多かった北赤道反流域では,稚魚は昼夜とも100m以浅に多かったが,成長に伴って分布水深が変化する傾向が見られた。体長10-30mmの稚魚は,昼間は表層付近から水深220m付近まで,夜間には表層付近から190mまで分布していた。体長40-60mmになると,昼間は30-90mまで,夜間は表層付近から110mまでの分布となった。昼間に比べて夜間の方が標本の

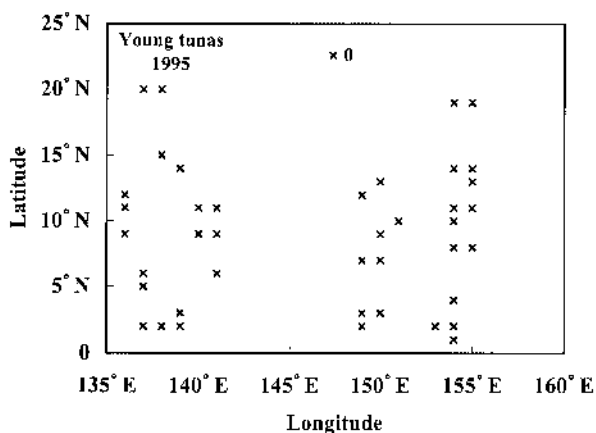
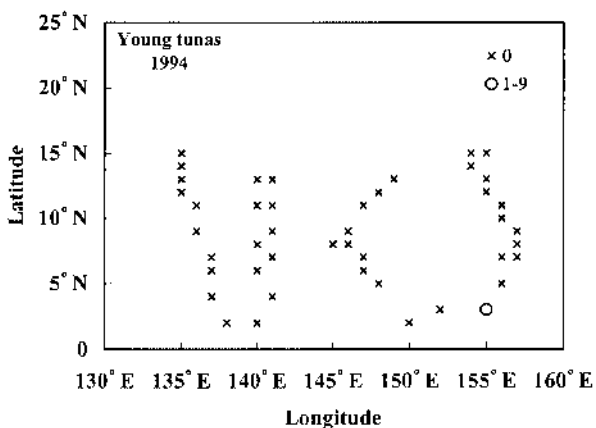
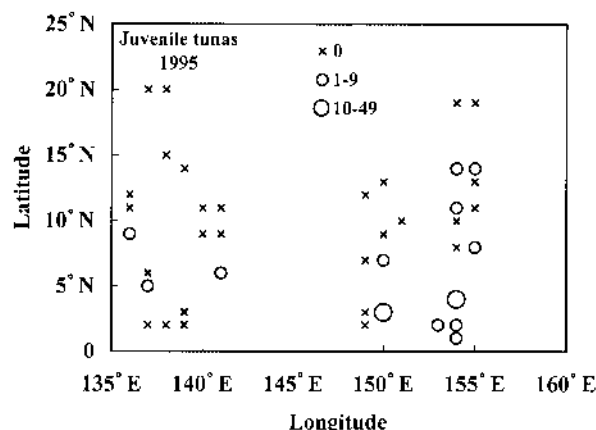
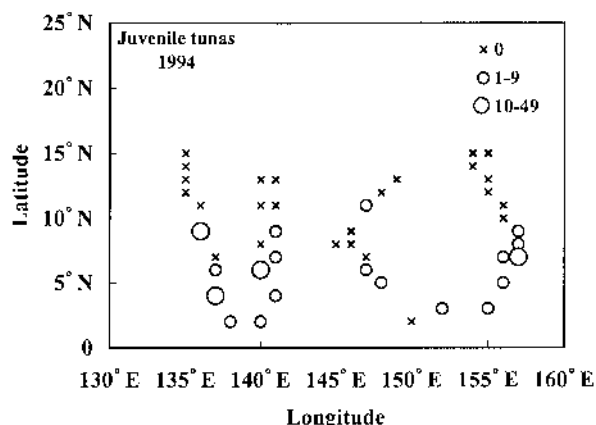


Fig. 3-12c. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1994. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree are area calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

Fig. 3-12d. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1995. Abundances of other tuna () at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

体長範囲が広く、成長に伴う分布水深の変化がより明瞭に現れている。幼魚のデータは少ないが、夜間10 m、50 m、70 mでそれぞれ1個体が出現した。境界域では、全ての体長範囲の個体が昼間は110 m以浅、夜間は90 m以浅に分布し、北赤道反流域よりも分布水深が浅かった。幼魚は、全ての個体が夜間50 m付近に分布していた。北赤道海流域では最もデータ数が少なかったため、体長と分布水深との関係を読みとることが困難であった。

各海域におけるマグロ属稚魚の20 m層ごとの1時間曳網あたり採集個体数と平均水温を比較した(図3-14)。マグロ属稚魚の鉛直分布の中心は、北赤道反流域では0-20 m層と40-60 m層、境界域では40-60 m層にあり、北赤道海流域では20-40 m層が最も多かった。これら3海域での鉛直分布密度の最大値は、マグロ属稚魚では表層混合層の厚さおよび水温躍層の深さと対応せず、どの海域でも分布密度の高い層は60 m以浅に存在した。しかしながら、北赤道海流域や北赤道

反流域に比べて水温躍層の浅い境界域では、120 m以深からは稚魚が出現しなかったのに対し、北赤道海流域と北赤道反流域では120-200 mでも稚魚が出現したことから、水温の高い海域ではマグロ属稚魚もより深い層まで分布できることが明らかになった。

3) 水温・塩分との関係

図3-15, 16にマグロ属稚魚および幼魚の分布密度を水温別、塩分濃度別に1時間曳網あたり採集個体数として示した。稚魚では水温12-30°Cの範囲に出現したが、26°C以上に多く分布し、水温が高くなるほど分布密度も高くなった。25°C以下では分布密度が低く、稚魚が高水温性で温度の高い環境を好んで分布していることが分かる。これとは対照的に、塩分濃度では低塩分ほど稚魚の分布密度が高くなる傾向が見られ、塩分濃度33.6-33.7PSUで最も分布密度が高く、これよりも塩分濃度が高くなると分布密度が低下し、35.4PSU以上では出現しなかった。これらの結果は、マグロ属

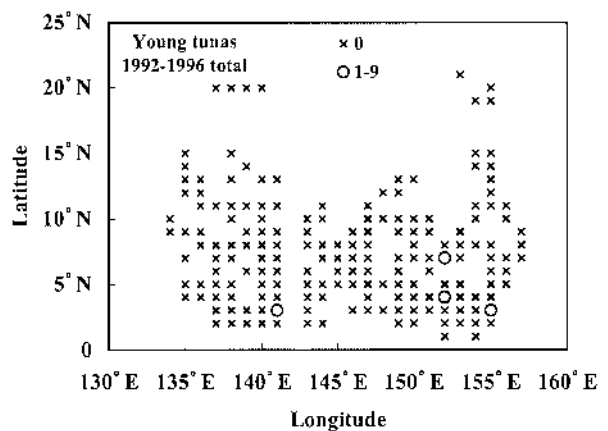
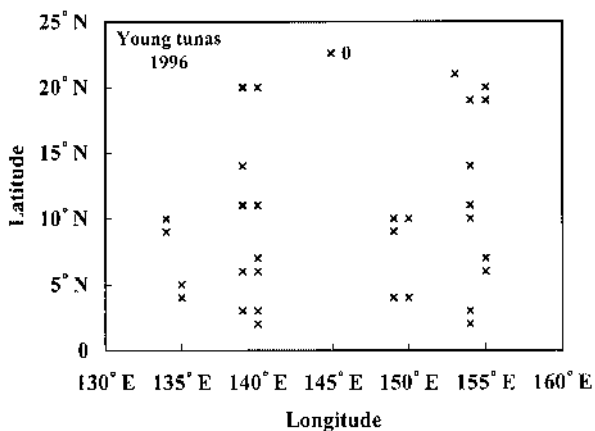
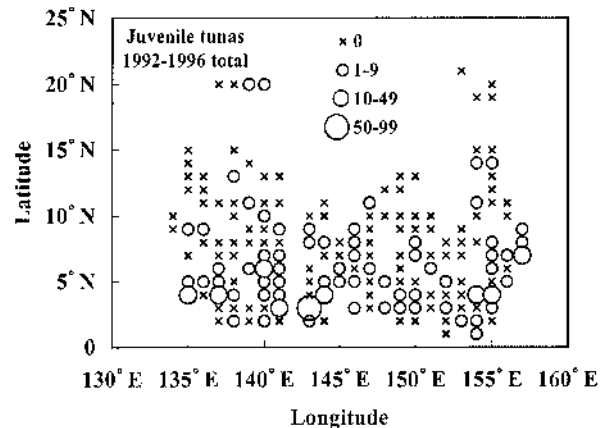
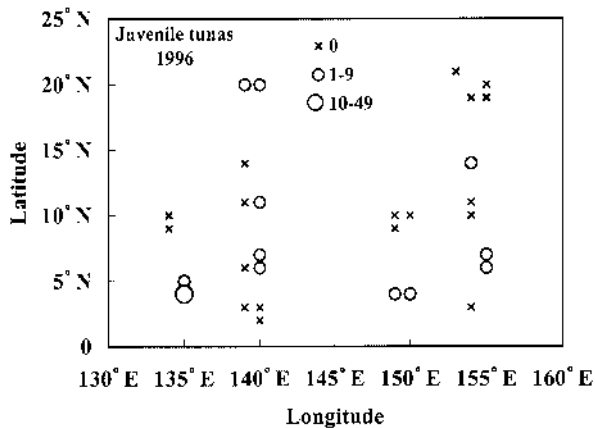


Fig. 3-12e. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1996. Abundances of other tuna (○) at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

Fig. 3-12f. Horizontal distribution of other juvenile (top) and young (bottom) tuna in the tropical western Pacific from October to December 1992 - 1996. Abundances of other tuna (○) at each 1×1 degree area are calculated by total number of specimens divided by number of tows. Cross (x) marks indicate negative catch.

稚魚が高水温・低塩分である熱帯の表層近くを主な分布域としていることを表しており、カツオ稚魚が水温・塩分に対して幅広い分布を示した点とは対照的で、両者の水温・塩分に対する指向性の違いは注目値する。マグロ属幼魚は、水温27 - 29°C、塩分濃度34.4 - 34.5 PSUに分布していた。

その他の採集生物の生物量とカツオ・マグロ類稚魚の出現状況

カツオ稚魚の水平・鉛直分布と中層トロールによって採集された全ての生物の生物量水平・鉛直分布との関係を調べる目的で、海域別1時間曳網あたり採集湿重量(図3-17)、緯度・経度1度ごとの1時間曳網あたり採集湿重量(図3-18)、水深別1時間曳網あたり採集湿重量(図3-19)を示した。中層トロールによって採集されたカツオ・マグロ類以外の生物は、昼間はカタクチイワシ科、ニザダイ科、アジ科を中心とした魚類が多く、夜間にはハダカイワシ科、ヨコエ

ソ科、クロタチカマス科を中心とした魚類に加え、トビイカ類を中心としたイカ類、オキアミ類を中心とした甲殻類が多かった。海域別の全生物量(バイオマス)を比較した結果、北赤道反流域と境界域では生物量が多く、北赤道海流域ではこれらの海域の50%と少なかった(図3-17)。緯度・経度1度ごとのバイオマスの水平分布においても、1時間曳網あたり採集湿重量5 - 9.9kgおよび10kg以上の点は、北赤道反流域から境界域に含まれる2 - 7°Nに多かった(図3-18)。一方、1時間曳網あたり採集湿重量0.1kg未満および0.1 - 0.9kgの点は、9°N以北に多く出現した。バイオマスの鉛直分布を見ると、昼間は北赤道海流域と境界域では40 - 80mに、北赤道反流域では80 - 120mにおいて分布密度が最も高く、夜間には北赤道反流域と境界域では80 - 120mに、北赤道海流域では80 - 120mと120 - 200mにピークを示した(図3-19)。各水深層でのカツオ稚魚の分布密度とバイオマスとの関係を調べたところ、昼間のカツオの鉛直分布とバイオマスの鉛直

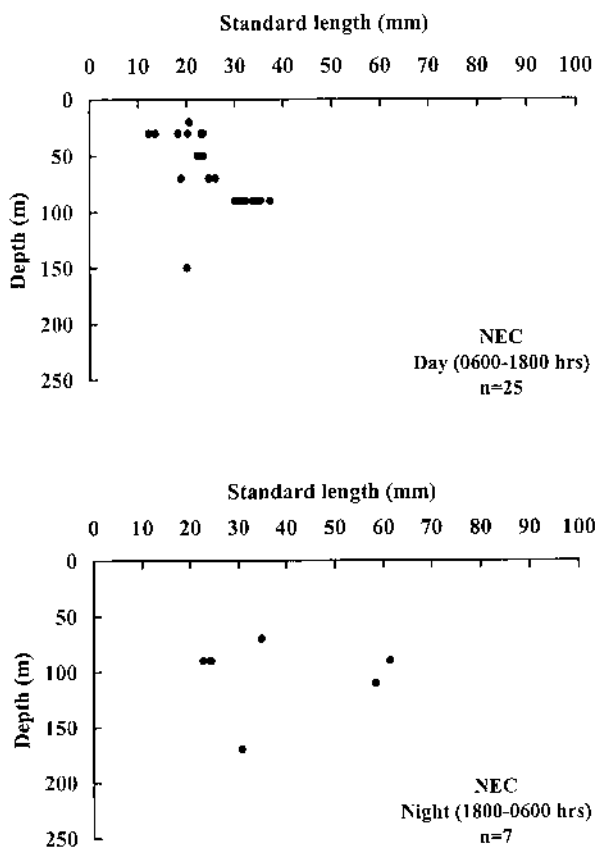


Fig. 3-13a. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the north equatorial current (NEC) area from October to December 1992 - 1996.

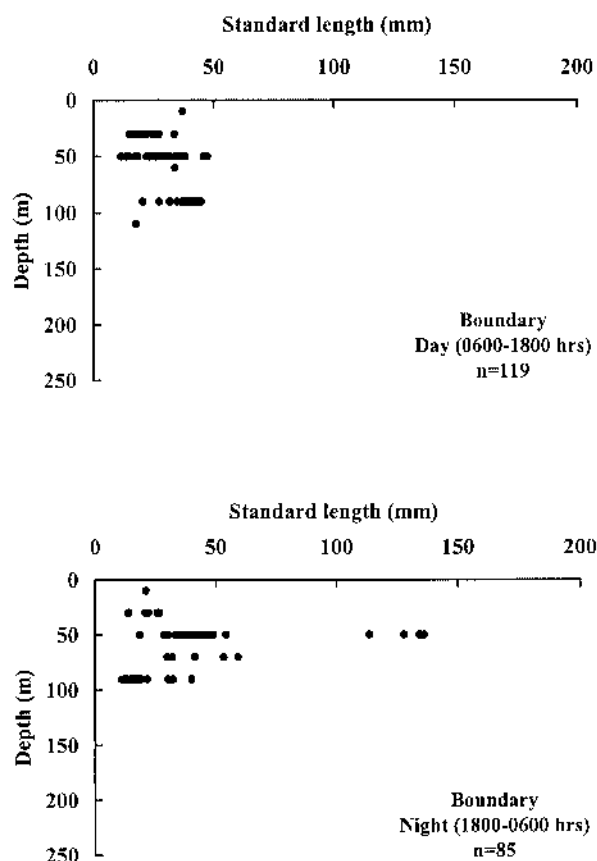


Fig. 3-13b. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the boundary area between the north equatorial current and the north equatorial counter current from October to December 1992 - 1996.

分布の間には高い相関が得られ、夜間にも決定係数は高くないものの一次直線的な関係が見られたことにより、カツオは生物量の多い水深に分布していることが分かった(図3-20)。これに対して、各水深層でのマグロ属稚魚の分布密度とバイオマスの鉛直分布との関係では相関が低く、マグロ属の鉛直分布はバイオマスの鉛直分布とは異なっていた(図3-21)。

考 察

西部太平洋の熱帯外洋域におけるカツオ稚魚および幼魚の分布

5年間の調査結果をもとにカツオ幼稚魚の水平分布を調べた結果により、パラオ・ミクロネシア周辺の西部太平洋熱帯海域では、少なくとも10-12月期にはカツオ稚魚がほぼ全域にわたって出現したことから、カツオが稚魚期においてこの海域全体を生息域として利用しているものと推定された。稚魚ネットによって採集されたカツオ仔魚の季節別分布によれば(西川ら1985), 仔魚期におけるカツオの分布は西部太平洋熱帯海域全体に広がっており、本種の産卵場の広さを示

すとともに、本研究により新たに幼稚魚の分布に関する知見が得られたことにより、ふ化後から仔魚期、稚魚期を経て幼魚期に至るまでの生活史段階をこの海域で過ごしていることが明らかになった。これまでの知見では、マグロ・カジキ類の胃内容物としてのカツオ幼稚魚の出現状況や断片的な採集結果をもとにカツオの稚魚期から幼魚期にかけての分布が推測されていたが(森 1972), 本研究結果によってこれらが実際に確認された。西部太平洋熱帯海域内で生まれたカツオは、幼魚期までをここで過ごした後、どの段階で大規模な魚群を形成し中緯度方向への回遊行動を初めるのであろうか。このことはカツオの生態研究としてだけでなく、資源学的側面からも加入にいたる生物過程を明らかにする上で重要である。本研究結果から資源への加入機構を明らかにすることは困難であるが、カツオの稚魚期から幼魚期にかけての分布生態を詳しく調べることにより、生態学的側面からの一助に成り得ると考えられる。

幼稚魚の分布と海洋環境要因との関係

本研究の対象となった海域を物理的に分類すると北

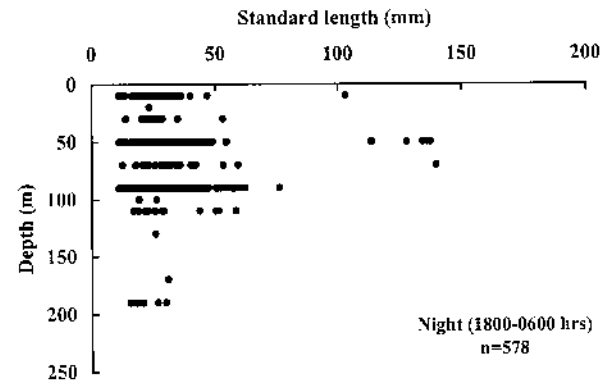
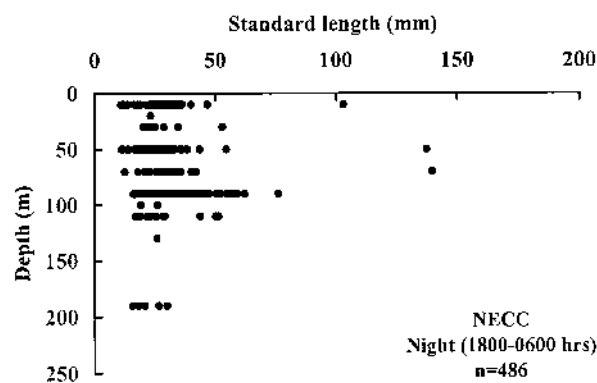
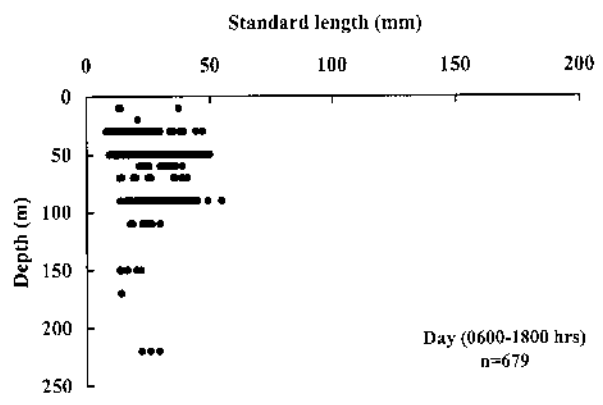
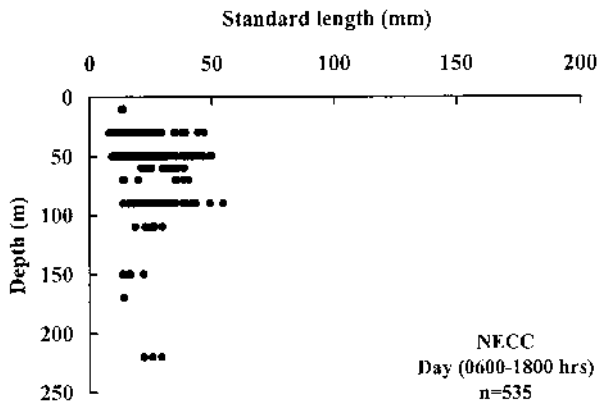


Fig. 3-13c. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the north equatorial counter current (NECC) area from October to December 1992 - 1996.

Fig. 3-13d. Changes in the distribution depth of other tuna with growth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

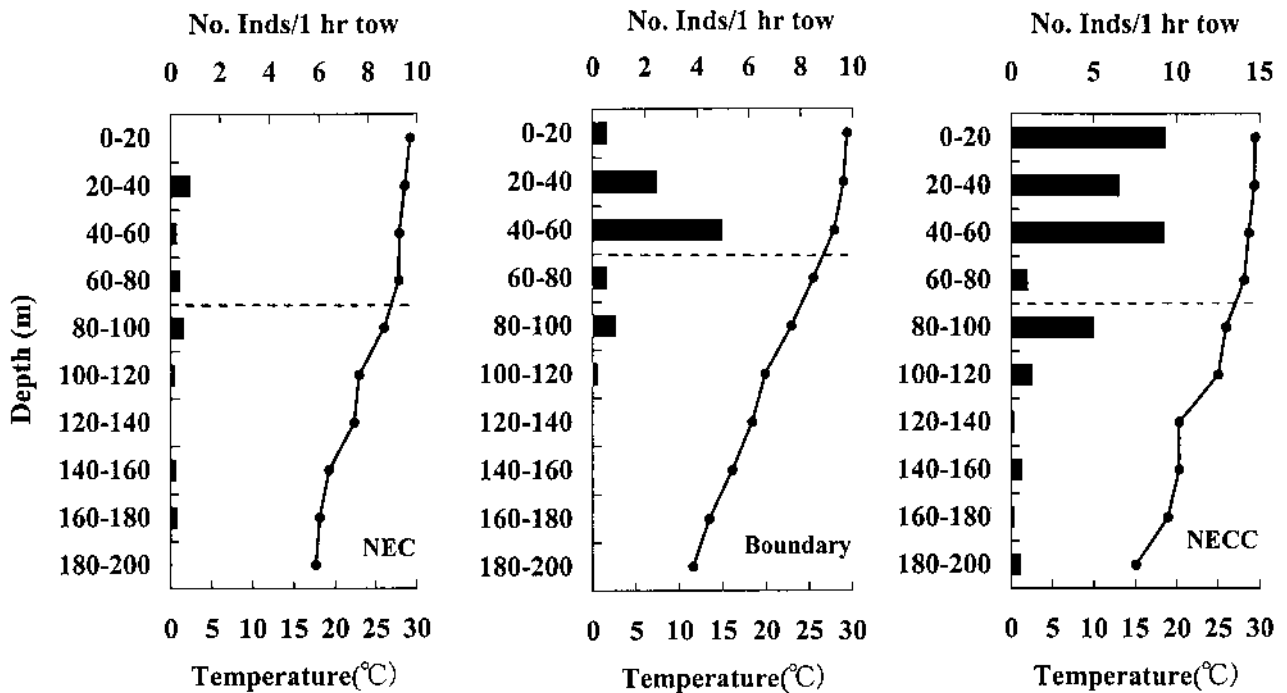


Fig. 3-14. Relationship between vertical distribution of other juvenile tuna () and mean temperature of each depth () in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996. Broken lines indicate the estimated maximum depth of the thermocline.

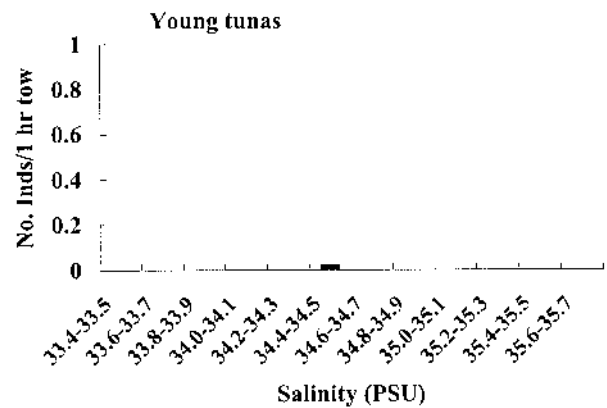
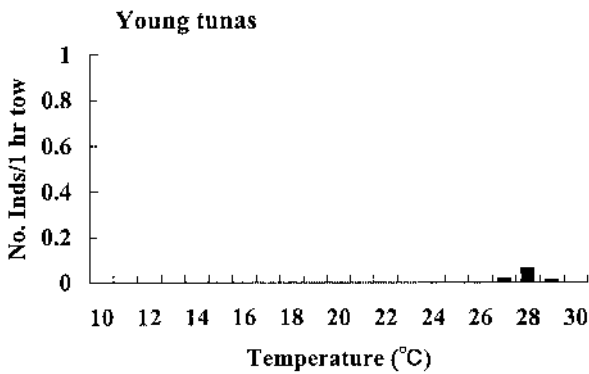
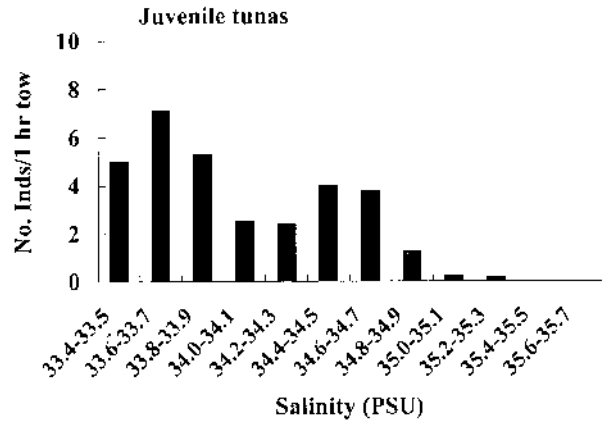
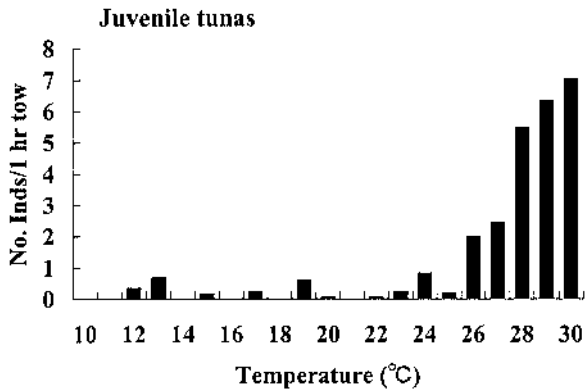


Fig. 3-15. Distribution of density for other juvenile (top) and young (bottom) tuna by temperature of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

Fig. 3-16. Distribution of density for other juvenile (top) and young (bottom) tuna by salinity level of the sampling depth in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996.

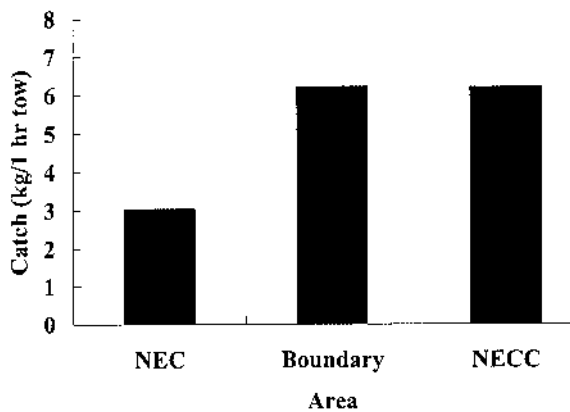


Fig. 3-17. Distribution of density for total samples collected by the midwater trawl net in the north equatorial current (NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996.

赤道海流域, 北赤道反流域, これらの境界域に分けられる。それぞれの特徴は, 北赤道海流域と北赤道反流域では表層混合層が水深80 - 100mに達し水温躍層の始まる水深が深かったことと, 塩分濃度も水深40 - 80 m以深では相対的に高かったのに対し, 境界域では赤

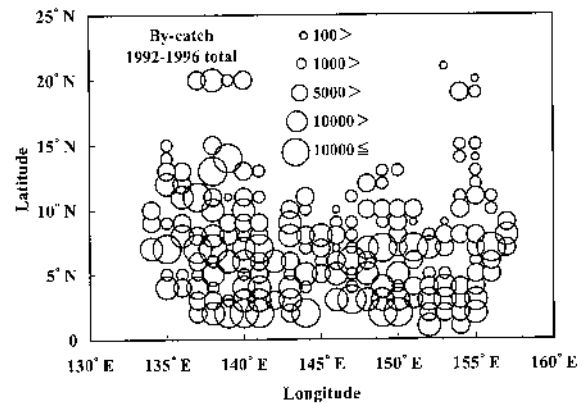


Fig. 3-18. Horizontal distribution of total samples collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E) from October to December 1992 - 1996. Abundances () at each 1×1 degree area are calculated by total wet weight of samples divided by number of tows.

道湧昇の影響により表層混合層が40 - 60mまでと浅い上に塩分濃度も相対的に低かったことから, 北赤道海流域と北赤道反流域では高水温・高塩分, 境界域では

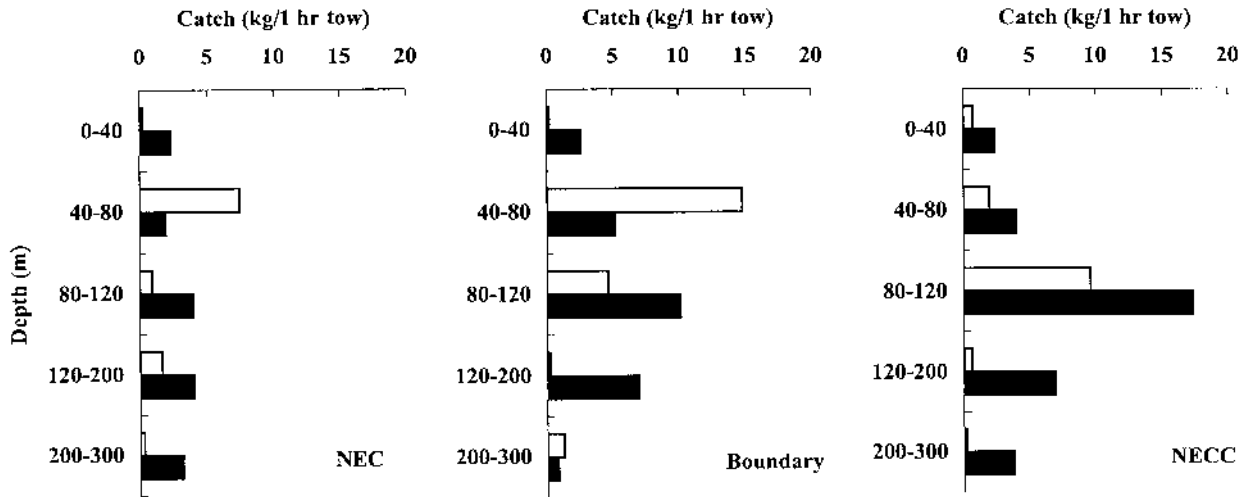


Fig. 3-19. Vertical distribution of total samples collected by the midwater trawl net for daytime () and night() in the north equatorial current(NEC), the boundary, and the north equatorial counter current (NECC) areas from October to December 1992 - 1996 .

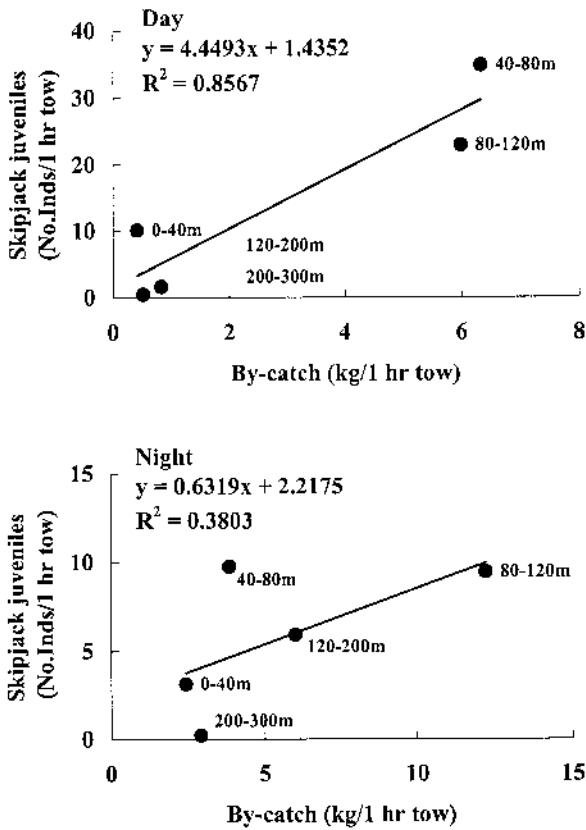


Fig. 3-20. Relationship for vertical distributions between juvenile skipjack and total samples collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific (0 - 20 °N, 130 - 160 °E) from October to December 1992 - 1996.

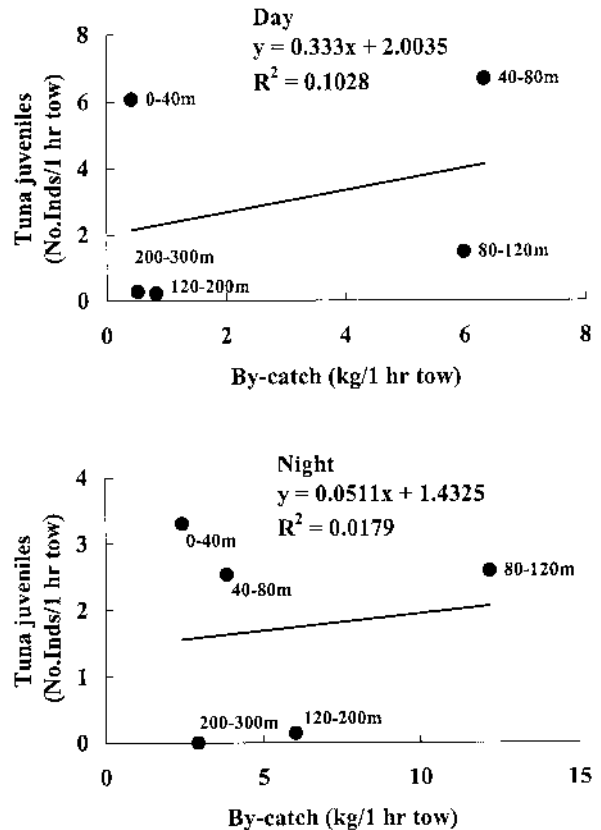


Fig. 3-21. Relationship for vertical distributions between other juvenile tuna and total samples collected by the midwater trawl net in the tropical western Pacific (0 - 20 °N, 130 - 160 °E) from October to December 1992 - 1996.

低水温・低塩分と特徴付けられた。それぞれの海域は、カツオの稚魚期から幼魚期にかけての生息場所としてどのような意味をもつのであろうか。本研究結果から見る限り、カツオの幼稚魚は西部太平洋熱帯域全体に

広がるほどの広大な分布域を示すものの、出現率と1曳網当たり採集個体数を海域間で比較した結果から、分布密度は北赤道反流域で最も高いと考えられた。このことはカツオ幼稚魚だけでなく近縁のマグロ属幼稚

魚を含めて生物量全体の分布密度にも当てはまることから、赤道より北側の熱帯外洋表層域内では北赤道反流域と境界域で生物生産力が高く、温帯域に比べて貧栄養とされる熱帯域内においても海域によって相対的な生物生産力が違うことが示唆された。北赤道反流域は、高水温・高塩分・富栄養の環境条件がカツオ稚魚の分布にとって有利に働くため、他の海域に比べて多くの稚魚群が生息していたと考えられる。北赤道海流域も高水温・高塩分であるが、栄養塩類が北赤道反流域よりも少ないためにカツオ稚魚の餌生物が乏しいことから (Reid Jr. 1962), 境界域に近い南縁海域では高密度の稚魚群が分布する場合もあるが、全体としては北赤道反流域よりも不利な環境条件にあってカツオ稚魚の分布は散発的である。境界域では湧昇流による下層からの栄養供給という有利な環境条件を備える一方、水温躍層の上層への張り出しによって他の海域と比較して低水温という不利な環境条件も併せもつため、カツオ稚魚の分布にとってあまり好適な環境とは言えず、分布域が限られている上に分布密度も低いと考えられる。

幼魚は稚魚に比べて遊泳能力がより発達した段階にあるため、積極的に好適な分布域を選択するとすれば物理・餌生物環境面で有利な北赤道海反流域でのみ幼魚が採集されたことは理解できる。しかしながら、稚魚は北赤道海流域や境界域にも分布しており、幼魚がこれらの海域に分布していなかった点については、稚魚期から幼魚期への成長に伴って北赤道反流域に移動したか、これらの海域にも分布するが北赤道反流域に比べて分布密度が低いために採集されなかった可能性がある。いずれにせよ、カツオの幼魚期における分布量は、北赤道海流域や境界域に比べて北赤道反流域の方が多いと考えられる。

カツオ幼稚魚を中心とした生物の鉛直分布と水温・塩分の鉛直分布との関係から、表層混合層の下部から水温躍層上部がカツオにとって最も分布密度が高い層であり、マグロ属を除く他の生物全体にとってもこの水深層で生物量が多かった。このことは鉛直分布においても水深層によって分布密度が違うこと、すなわちカツオにとって生活しやすい分布水深が存在していることを示しているとともに、カツオが他の魚類や頭足類、甲殻類とも鉛直的に同じ分布層で生活していることを示している。カツオ幼稚魚と餌生物の分布との関係については第4章の摂餌生態において詳しく述べるが、カツオの鉛直分布も餌となる生物の分布層と関連していることが推察できる。この水深層では、湧昇による下層からの栄養塩類の供給を受けるため、植物プランクトンから始まる食物連鎖を通じて相対的に生物量が多くなっていると考えられる。一方、表層混合層

の上部では、最も高水温で栄養塩類の消費が激しく栄養枯渇状態となるため、カツオ稚魚にとって好適な生息環境にはないと考えられる。水温躍層の下部では、下層ほど栄養塩類は豊富であるが水温が低すぎるために、カツオにとって不適な生息環境である。

カツオと熱帯性マグロ類の分布の違い

カツオの分布域の広さはマグロ類の中でも最大規模を誇るとともに、漁獲量から推定される資源量もマグロ類の中では最大と考えられる。このことは、本研究によって明らかになったカツオとマグロ属の幼稚魚における分布域と海洋環境との関係からも説明することができる。すなわち、カツオ幼稚魚の分布域における水温・塩分範囲はマグロ属に比べて幅広く、カツオの方がマグロ属よりも温度と塩分の両方の物理環境に対してより広く対応できることが示されたことにより、カツオは稚魚期から広い環境適応力を備え、マグロ属よりも広い海域で生活することが可能となったと考えられる。海洋環境に対してより広い範囲で適応できることは、分布域を拡大する上で有利と考えられ、カツオが他のマグロ類に比べて分布域が広く、個体数を増大させることにつながったのではないだろうか。海面に近い0 - 40m層では、下層から供給された栄養塩類が強い日射と高水温での活発な生物活動を通じて急速に消費されるため、貧栄養な熱帯外洋表層域の中でも最も栄養条件の劣悪な環境にある。カツオと同じ高度回遊性魚類に属するマグロ属の稚魚が、あえてこのような厳しい条件の水深層を中心として生活していることは、彼らの生態を明らかにしていく上で特筆すべき点である。マグロ属がなぜカツオよりも浅い水深層で生活しているのかという点については明らかにされていないが、仔魚期においてもこれと同じ鉛直分布関係があることが報告されており、カツオとマグロ属との初期生活史における分布生態の違いを示している。カツオでは生活史初期において鰾が消失するが、キハダやメバチでは鰾が成魚期でも確認できることから、鰾の有無による比重の違いが関与しているのかもしれない。

熱帯外洋域におけるカツオ幼稚魚の分布と生態戦略

カツオの分布水深と体長との関係から、稚魚期から幼魚期にかけての体成長に伴う遊泳能力の発達により、生息域を積極的に選択しながら生活していることが示唆された。魚類の中でも卓越した遊泳能力を備えるカツオは、稚魚期から幼魚期にかけて遊泳能力を急速に発達させることにより、餌生物の捕食と捕食者からの逃避という2つの行動において有利となり、個々の生き残る確率を高くすることができると考えられ

る。第2章でも述べたように、体長100mmを越えて幼魚期に入ったカツオを捕獲することは、曳網速度5ノットの高速型大規模中層トロール網を使用しても決して容易ではなく、このことはカツオ幼魚の逃避能力がいかに高いものであるかを端的に表している。カツオはこのように高い遊泳力を持つことにより、大規模な魚群を形成しながら幼魚期から未成魚期にかけて回遊行動を開始し、親潮と黒潮が混合する三陸沖漁場のような餌の豊富な中緯度海域を目指して、数千キロにも及ぶ長距離を北上移動してくるのであろう。カツオの生活史における高度な遊泳能力の獲得は、貧栄養とされる熱帯の外洋域から富栄養な日本近海域への索餌回遊を可能とし、その結果西部太平洋では南北40度にも及ぶ分布域の拡大に成功したと考えられる。

カツオの親魚が西部太平洋熱帯域の外洋表層域を主要な産卵場として利用し、仔魚期から幼魚期にかけてこの海域で生活することは、本種の生態においてどのような意義があるのだろうか。本研究で得られた海洋観測結果から、熱帯の外洋表層域は高水温であるとともに海流の流れも単純で、海洋環境としては比較的季節変動が小さく、年間を通じての安定性が高いと考えられる。環境変動が小さいことは、カツオの幼稚魚が一定の海洋環境の中で生活できることを意味し、摂餌の面からも餌生物の安定供給をもたらすことにより、初期成長や生き残りにとっても有利に作用すると考えられる。摂餌生態と初期成長についてはこの後の第4章と第5章で詳しく述べるが、カツオの稚魚期から幼魚期にかけての分布生態における特性は、種としての生き残り戦略を考える上でも重要である。カツオが周年安定的な環境である低緯度域を産卵場とし、餌の豊富な中緯度域を索餌場として、強力な遊泳能力をもとにこの海域間を回遊しながら生活していることは、生活史の各段階において巧みに海洋環境を利用する適応能力を身につけることができた結果と考えられる。

第4章 摂餌生態

魚類の初期生活史研究において摂餌生態を明らかにすることは、種としての生活史戦略を理解する上で重要である。摂餌生態は、第3章で明らかになった分布生態と密接に関連しているとともに、第5章で記述する初期成長様式の決定要因としても重要である。摂餌生態を明らかにすることにより、カツオの初期生活史における生き残り戦略を浮き彫りにし、資源への加入機構を解明するための鍵を得ることができると考えられる。

第3章で記述したように、カツオ稚魚は西部太平洋の熱帯外洋域では水深40 - 120mの表層混合層下部か

ら水温躍層上部を中心に分布しており、この層はTANSYU型中層トロールによって採集された総生物量が最も多い水深と一致していた。このことは、カツオ稚魚が餌生物だけでなく捕食者とも鉛直的な分布域が重なることを意味する。この海域の物理環境は、北東貿易風、東西方向での単純な海流系、高温の表層水によって特徴付けられ、これらの季節的・経年的変動幅が比較的少ないことにより、生息域としては常に安定した環境条件が保証されている。しかしながら、強い日射を背景とした高水温下での活発な生物生産活動により栄養塩類の消費が激しいため、特に表層では栄養塩が枯渇状態となっている。このような生息環境の中で、カツオはどのように適応し、どのような初期生活史を送っているのだろうか。食性や摂餌行動などの摂餌生態からのアプローチは、この課題への答えを導き出す有効な手段に成り得ると考えられる。

研究史に述べた如く、カツオの摂餌生態に関する研究の多くは仔魚期または成魚期の報告に限られており、稚魚期の摂餌生態についてはわずかの報告しかされていない。本種の食性の特徴として、近縁種のピンナガやミナミマグロよりも魚食性の発現時期が早いこと、仔魚期から稚魚期にかけて餌生物としての魚類仔魚への依存度が高くなることが報告されているのみである(西川 1975, Young and Davis 1990)。本章では、カツオ稚魚の摂餌生態を明らかにするために、西部太平洋の熱帯外洋域で採集した標本を用いて胃内容物分析を行った。この分析結果から、カツオ稚魚の胃内容物として出現した各餌生物の相対的重要度を明らかにした。また、カツオ稚魚の摂餌行動の日周変化についても知見を得た。

材料および方法

供試魚の採集方法

胃内容物分析のための供試魚は、1994年10月下旬から12月上旬に西部太平洋熱帯海域(0 - 15°N, 130 - 160°E)においてTANSYU-2型中層トロール網を用いて採集した(図2 - 1b)。中層トロールの曳網は、グアム島の西側海域で13定点、東側海域で14定点、合計27調査点で行った(図4 - 1)。曳網は原則として昼夜2回ずつ、合計1日4回、水深40 - 60m層と80 - 100m層で1時間の水平曳きを行った。曳網速度は、対水速度4 - 5ノットに設定した。網口の深度と開き具合は、身網1段目に取り付けた漁網監視装置(Furuno FNR-200)を使って曳網中常時観察し、目的の網深度を維持するよう操船した。揚網後にはコッドエンド内張り網の後端から全採集生物を計量容器中に取り出し、直ちに湿重量を計測した。次いでソーティン

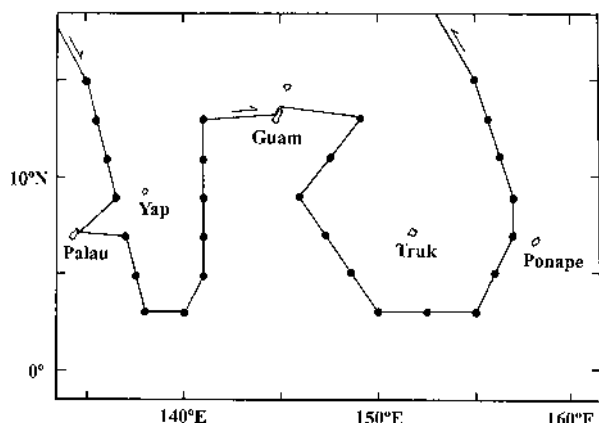


Fig. 4-1. The sampling locations of the TANSYU-2 () with cruise tracks of R/V *Omi Maru* for the stomach content analysis of juvenile skipjack.

グによってカツオとマグロ属幼稚魚を取り出し、80%アルコールに保存するとともに、これら以外の採集物についてもハダカイワシ類、カタクチイワシ類などの魚類、オキアミ類などの甲殻類、トビイカ類などの頭足類、その他の大まかな動物群に分類し、10%ホルマリン固定または冷凍保存した。

カツオの正確な種査定は、Matsumoto *et al* (1984) を参照し航海終了後に実体顕微鏡下で外部形態を観察しながら行った。マグロ属幼稚魚については外部形態では属レベルまでしか査定できないため、本研究ではマグロ属 *Thunnus spp.* として扱った。ミトコンドリア DNA による種判別の結果では、これらのマグロ属幼稚魚は主としてキハダとメバチによって構成されており(供試魚全体の95%)、わずかにピンナガが含まれていた(同2.1%)。

本研究の対象海域は、CTD による水温と塩分濃度の観測結果と ADCP による流向・流速の観測結果に基づいて、北赤道海流域(NEC)と北赤道反流域(NECC)の2海域に区分した。

餌生物としての魚類仔魚の採集方法

カツオ・マグロ類仔魚およびその他の魚類仔魚の採集を目的として、口径2m型稚魚ネットを用いて、水深50mまでの傾斜曳きを行った。稚魚ネットの曳網点は、TANSYU-2型中層トロールと同じ調査点とした。曳網は1日1回、夜間に曳網速度2ノットで行った。身網の側長は6m、目合いは前部3分の2が1.7mm、後部3分の1が0.5mmであった。採集物は5%ホルマリンで固定し、航海終了後に魚類仔魚を選別した後、実体顕微鏡下でカツオ・マグロ類の種査定、計数とその他魚類の計数を行った。カツオ・マグロ類の種査定は、沖山(1993)に掲載された外部形態の特徴を参考にして行った。

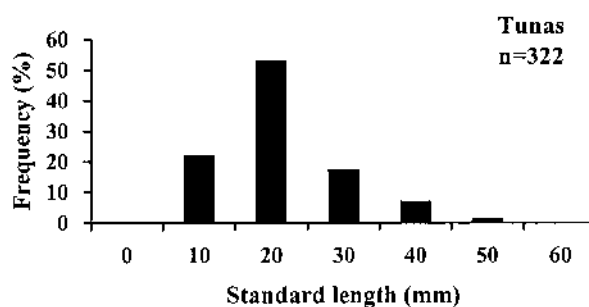
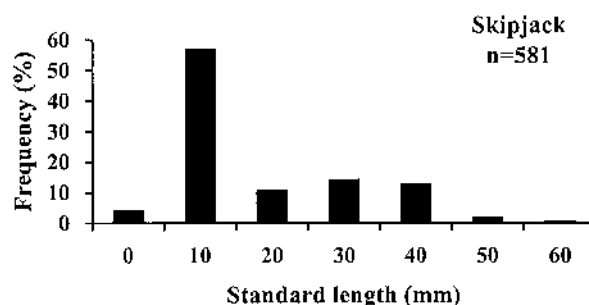


Fig. 4-2. Length-frequency distribution of skipjack (top) and other tuna (bottom) juveniles that were collected by the TANSYU-2 from October to December 1994 and were used for the stomach content analysis.

胃内容物の分析方法

カツオ588個体とマグロ属322個体を供試魚として、胃内容物分析を行った。カツオの体長は8.5 - 66.8mm、体重は10 - 3420mgであった。マグロ属の体長は9.8 - 55.3mm、体重は10 - 2580mgであった(図4-2)。供試魚の採集時刻、採集位置、水深、各調査点での標本数および体長範囲を表4-1a,bにまとめて示した。

カツオ・マグロ属稚魚の胃内容物分析は、次の手順で行った。まずデジタルノギスを使って標準体長(吻の先端から脊椎骨末端までの長さ)を0.1mm単位で測定した後、電子天秤を使って体重を0.1mg単位で測定した。次いで実体顕微鏡下で消化管を摘出した後、胃を切開し全胃内容物をスライドグラス上に取り出した。胃内容物は、全体の湿重量を測定した後、可能なレベルの動物群まで分類し、動物群ごとに個体数の計数と湿重量の測定を行った。胃内容物の充満度と消化度は、Young and Davis (1990)の基準を参考にして評価した。

すなわち、胃内容物の充満度は5段階(1:空胃 2:ごく少量の胃内容物が存在し、胃の外形は非常に細く、内壁には大きなヒダが存在する状態、3:胃内には少量の内容物が充満、胃の外形はやや丸みを帯び、内壁には小さなヒダが残っている状態、4:胃内にはかな

Table 4-1a. Characteristics of juvenile skipjack tuna used for stomach content analysis collected by the midwater trawl net TANSYU 2 in the tropical western Pacific during October to December 1994.

Station No.	Time	Locations (lat., long.)	Depth (m)	No. of specimens	Size (mm SL)
94101-1	12:45	15 °01N ,135 °00E	40 - 60	2	8.7 - 14.4
94101-2	14:15	14 °57N ,135 °00E	80 - 100	1	20.8
94102-2	04:15	12 °57N ,135 °30E	80 - 100	5	11.6 - 25.4
94104-1	13:05	09 °01N ,136 °30E	40 - 60	23	24.5 - 39.6
94104-2	14:35	09 °04N ,136 °30E	80 - 100	37	21.2 - 46.8
94105-2	14:55	06 °56N ,137 °00E	80 - 100	3	58.6 - 66.8
94106-1	13:25	04 °59N ,137 °30E	40 - 60	7	16.5 - 24.4
94106-2	14:55	04 °57N ,137 °30E	80 - 100	100	16.1 - 55.2
94106-3	19:42	04 °59N ,137 °30E	40 - 60	5	19.0 - 30.0
94110-1	13:25	06 °59N ,140 °59E	40 - 60	18	13.2 - 27.9
94110-2	14:48	06 °57N ,140 °58E	80 - 100	13	12.2 - 33.8
94110-3	19:35	07 °01N ,141 °00E	40 - 60	10	16.1 - 24.5
94202-1	12:25	11 °00N ,147 °30E	40 - 60	43	9.2 - 18.6
94207-1	13:25	03 °00N ,152 °30E	40 - 60	26	10.5 - 16.3
94208-1	12:25	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	77	8.5 - 17.5
94208-2	18:25	03 °00N ,155 °01E	40 - 60	5	10.6 - 16.1
94208-3	00:35	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	51	9.1 - 16.4
94208-4	06:25	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	105	8.8 - 25.8
94210-3	19:35	07 °00N ,157 °00E	40 - 60	9	32.6 - 54.7
94210-4	21:00	07 °00N ,156 °57E	80 - 100	42	34.7 - 49.6
94214-2	14:50	14 °57N ,154 °56E	80 - 100	3	8.9 - 12.5
94214-4	21:05	14 °57N ,154 °55E	80 - 100	3	12.3 - 18.7

りの内容物が充満，胃の外形も膨らみヒダがほぼ伸びきっている状態，5：胃が内容物で満たされ，胃壁が非常に薄くなっているため，内容物の一部分が外側から確認できる状態）とし，消化度は3段階（1：高次レベルの査定も不可能な状態，ペースト状 2：脚，鱗が分解，高次レベルの査定可能 3：ほぼ原形を留めた状態，種レベルの査定可能）に区分した。

食性と摂餌行動の分析方法

胃内容物中における各餌生物の相対的な地位を評価するために，動物群ごとの出現個体数，湿重量，出現頻度のデータを使って，Pinkas *et al* (1971)の方法により相対的重要度指数（IRI）を計算した。この指数は，稚魚の胃の中に見られるさまざまな餌生物を評価・

比較するには，簡便で有効な方法である。IRI は次の式により求めた。

$$IRI_i = (\%Ni + \%Wi) \times \%Fi$$

ここで，%Ni は全餌生物に占める餌生物 i の個体数パーセント，%Wi は全餌生物に占める餌生物 i の重量パーセント，そして%Fi は供試胃袋100個体当たりの餌生物 i の出現率を表わす。この指数を用いることにより，カツオ・マグロ属稚魚の各餌生物の相対的重要度を評価し，北赤道海流域と北赤道反流域間での比較を行った。

カツオ・マグロ属稚魚の摂餌行動の日周性を明らかにするために，胃内容物の充満度と消化度，胃内容物

Table 4-1b. Characteristics of other juvenile tuna used for stomach content analysis collected by the midwater trawl net TANSYU-2 in the tropical western Pacific during October to December 1994.

Station No.	Time	Locations (lat., long.)	Depth (m)	No. of specimens	Size (mm SL)
94104-1	13:05	09 °01N ,136 °30E	40 - 60	55	11.5 - 37.9
94105-1	13:30	06 °59N ,137 °00E	40 - 60	1	32.2
94105-2	14:55	06 °56N ,137 °00E	80 - 100	1	55.3
94105-4	21:10	06 °57N ,137 °00E	80 - 100	1	54.7
94106-1	13:25	04 °59N ,137 °30E	40 - 60	15	17.1 - 43.5
94106-2	14:55	04 °57N ,137 °30E	80 - 100	2	22.4 - 35.2
94106-3	19:42	04 °59N ,137 °30E	40 - 60	34	19.5 - 35.2
94107-3	19:40	02 °59N ,138 °00E	40 - 60	1	53.1
94108-2	18:30	02 °59N ,140 °00E	80 - 100	2	33.8 - 36.4
94110-1	13:25	06 °59N ,140 °59E	40 - 60	93	12.1 - 33.6
94110-2	14:48	06 °57N ,140 °58E	80 - 100	5	16.5 - 22.3
94110-3	19:35	07 °01N ,141 °00E	40 - 60	1	18.7
94111-1	13:40	09 °01N ,141 °00E	40 - 60	1	14.4
94202-1	12:25	11 °00N ,147 °30E	40 - 60	3	23.9 - 24.0
94202-4	06:25	11 °00N ,147 °29E	40 - 60	1	21.9
94204-3	19:35	06 °59N ,147 °20E	40 - 60	1	13.5
94205-1	13:20	05 °00N ,148 °41E	40 - 60	1	21.5
94205-4	21:10	05 °00N ,148 °37E	80 - 100	1	22.1
94207-1	13:25	03 °00N ,152 °30E	40 - 60	21	11.9 - 24.4
94207-2	14:45	03 °00N ,152 °27E	80 - 100	1	14.0
94207-3	19:40	03 °00N ,152 °30E	40 - 60	3	14.7 - 19.7
94208-1	12:25	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	1	21.3
94208-2	18:25	03 °00N ,155 °01E	40 - 60	4	13.6 - 26.5
94208-3	00:35	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	3	16.6 - 28.0
94208-4	06:25	03 °00N ,155 °00E	40 - 60	11	9.8 - 26.8
94209-1	13:25	05 °00N ,156 °00E	40 - 60	1	19.9
94209-3	19:40	05 °01N ,156 °00E	40 - 60	6	19.3 - 26.7
94209-4	21:05	05 °05N ,156 °00E	80 - 100	1	22.2
94210-1	13:25	07 °00N ,157 °00E	40 - 60	10	17.3 - 47.5
94210-3	19:35	07 °00N ,157 °00E	40 - 60	37	28.4 - 53.9
94210-4	21:00	07 °00N ,156 °57E	80 - 100	1	39.9
94211-3	19:35	09 °00N ,157 °20E	40 - 60	3	35.0 - 45.7
94211-4	21:00	08 °57N ,157 °17E	80 - 100	1	32.4

重量指数 (SCI) の経時変化を調べた。胃内容物重量指数 (SCI) は次の式により求めた。

$$SCI(\%) = SCW/BW \times 100$$

ここで、SCW は全胃内容物の湿重量 (mg), BW は魚体の湿重量 (mg) を表わす。

また、稚魚の摂餌量を把握する目的で、体長と SCI との関係プロットし体成長に伴う胃内容物重量の変化を調べた。

結 果

カツオ稚魚の摂餌生態

1) 胃内容物組成

カツオ稚魚の胃内容物として出現した動物群は、魚類仔魚、オキアミ類、カイアシ類、端脚類、頭足類であった。これら以外にヤムシ類、等脚類および魚卵がわずかに認められ、これらはその他の動物群としてまとめて扱った。消化によりどの動物群にも分類できない胃内容物は 種類不明消化物としてまとめて扱った。

胃内容物の中で最も優占的に出現した動物群は魚類仔魚であり、全供試魚の78.4%が捕食していた。魚類仔魚の胃内容物全動物群に占める個体数パーセント (%N) は73.8%を示し、重量パーセント (%W) は82.8%と出現率 (%F) は21.6%と高い値を示した。したがって、空胃個体を除いたカツオ稚魚全個体を使って計算した魚類仔魚の IRI は12273となった(図4-3)。カツオ稚魚1個体当たりの捕食量は、個体数で1-11個体(平均2.4個体)湿重量では0.2-83.8mg(平均12.8mg)であった。カツオ稚魚の胃内容物中にみられた魚類仔魚は、ほとんどの場合部分的あるいは全体的に消化作用を受けていたため(消化度2または1)、科レベルまでの同定ができなかった。しかしながら、しばしばカタクチワシ科の仔魚が認められ、クロタチカマス科の仔魚も少数確認できた。また、カツオ・マグロ属仔魚も胃内容物として出現しており、同じ分布域内で稚魚が仔魚を共食いしていることが確認された。カツオ稚魚の胃内容物中におけるカツオ・マグロ属仔魚の出現率は3.8%で、カタクチワシ科は18.4%、クロタチカマス科は2.2%であった。魚類仔魚は全体の78.6%が単独で出現したが、7%はオキアミ類と、1.1%はカイアシ類と2.2%は端脚類と3.2%は頭足類と2.7%はその他動物群とともに捕食されていた。また、魚類仔魚とオキアミ類に加え、端脚類またはその他動物群の3種類の動物群を捕食していたカツオ稚魚は、魚類仔魚捕食者全体の2.2%であった。

魚類仔魚以外の動物群の %F, %N および %W は、

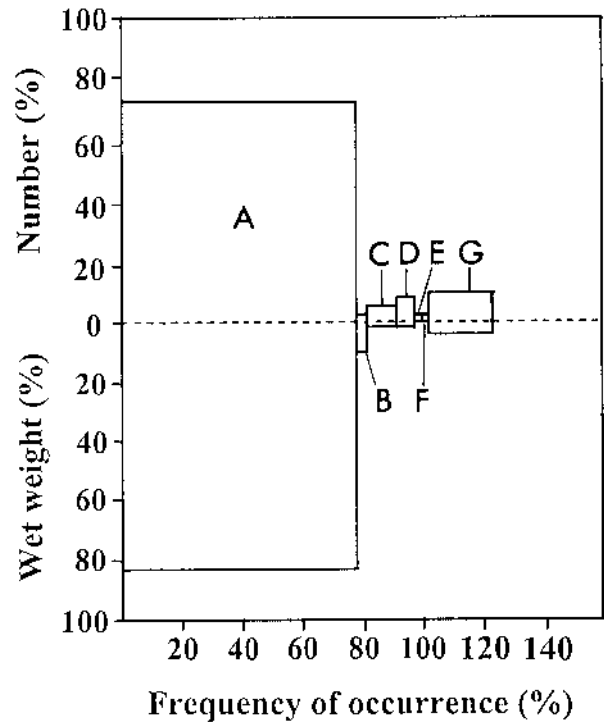


Fig. 4-3. The index of relative importance for each food item (IRI) that was calculated by percentage composition of major food items by number, wet weight, and frequency of occurrence in the stomach contents of juvenile skipjack. The area of each rectangle shows an IRI. A, fish larvae; B, Cephalopoda; C, Euphausiacea; D, Copepoda; E, Amphipoda; F, other prey taxa; G, unidentified prey.

いずれも22%以下と魚類仔魚に比べて低かった。オキアミ類を捕食していたのは供試魚全体の10.2%で、捕食量は1-5個体(平均1.2個体)0.04-9.1mg(平均1.9mg)であった。オキアミ類の %N は4.8%, %W では1.6%であった。カイアシ類の %F は5.9%, %N は7.8%, %W では1.3%であった。端脚類では, %F が2.5%, %N が1.3%, %W が0.3%であった。頭足類では, %F が2.5%, %N が1.7%, %W が9.6%であった。その他動物群では, %F が2.3%, %N が1.3%, %W が0.4%であった。種類不明消化物は %F で21.6%と魚類仔魚に次いで高い値を示したものの, %N は9.7%, %W は4%と低かった。これらの結果から、カツオ稚魚の胃内容物を順位付けると、%F では魚類仔魚、種類不明消化物、オキアミ類、カイアシ類、端脚類と頭足類、その他動物群の順になった。%N では、魚類仔魚、種類不明消化物、カイアシ類、オキアミ類、端脚類とその他動物群、頭足類の順であった。%W では、魚類仔魚、頭足類、種類不明消化物、オキアミ類、カイアシ類、その他動物群、端脚類の順であった。さらに、IRI によってカツオ稚魚の胃内容物を評価すると、第1位の魚類仔魚が12273と圧

Table 4-2. Main prey taxa of juvenile skipjack tuna in the north equatorial current (NEC) and the north equatorial counter current (NECC) areas.

	NEC area				NECC area			
	%F	%N	%W	IRI	%F	%N	%W	IRI
Fish larvae	78.9	84.1	94.7	14107.3	77.4	62.8	77.4	10851.5
Euphausiacea	16.7	6.5	3.2	162.0	6.2	3.1	0.9	24.8
Copepoda	1.1	0.3	0.0	0.3	8.9	15.9	1.9	158.4
Amphipoda	4.4	1.3	0.8	9.2	1.4	1.4	0.1	2.1
Cephalopoda	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	2.4	13.9	66.8
Others	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.8	0.6	11.6
Unidentified	23.3	7.8	1.4	214.4	20.5	11.7	5.2	346.5

%F: frequency of occurrence of each food item in the total number of stomachs examined; %N: percentage of number of each food item to the total number of all food items identified; %W: percentage of wet weight of each food item to the total wet weight of all food items identified; IRI: index of relative importance of each prey item; $(\%N + \%W) \times \%F$.

倒的に多く、次は種類不明消化物 (295.7), オキアミ類 (65.5), カイアシ類 (54.2), 頭足類 (27.4), 端脚類 (4.1), その他動物群 (3.7) の順であった。

2) 胃内容物の海域間比較

各調査点での胃内容物組成データをもとに、北赤道海流域と北赤道反流域におけるカツオ稚魚の食性を、%F, %N, %W, IRI により比較した (表 4-2)。魚類仔魚は、北赤道海流域、北赤道反流域とも、%W で 94.7%、77.4% と全動物群の中で最も高い割合を占めた。%F および %N でも、魚類仔魚は北赤道海流域で 78.9% および 84.1%, 北赤道反流域で 77.4% および 62.8% と、全動物群の中で最も高い出現率を示した。したがって、北赤道海流域と北赤道反流域におけるカツオ稚魚の最も重要な餌は魚類仔魚であることが明らかになった。北赤道反流域では、頭足類が %W で 13.9% を占めたが、北赤道海流域では出現しなかった。

その他の動物群も、北赤道反流域では %W で 0.6% 含まれていたが、北赤道海流域では出現しなかった。オキアミ類は、北赤道海流域では IRI で 162.0 と魚類仔魚、種類不明消化物に次いで 3 番目に高い値を示したが、北赤道反流域では 24.8 と低く 5 番目にランクされた。一方、カイアシ類は、北赤道反流域では IRI で 158.4 と魚類仔魚、種類不明消化物に次いで 3 番目に高い値を示したが、北赤道海流域では 0.3 と低かった。端脚類の IRI は、北赤道海流域で 9.2, 北赤道反流域で 2.1 であった。種類不明消化物の IRI は、北赤道海流域で 214.4, 北赤道反流域で 346.5 であった。

これらの結果から、北赤道反流域では餌が多様なだけでなく、魚類仔魚の餌生物としての重要性が北赤道海流域よりも低くなっているが (IRI で北赤道海流域の 14107.3 に対し、北赤道反流域では 10851.5), カツオ稚魚にとっては、どちらの海域においても魚類仔魚が

餌生物として圧倒的に重要であることには変わりないことが明らかになった。

3) 摂餌活動の日周期性

カツオ稚魚の胃内容物充満度の経時変化を図 4-4 に示した。空胃個体 (f1) の割合は 22-2 時には 100%、2-6 時には 80% を占めたが、日の出後 6-10 時には 28.5% まで急速に減少した。10-14 時には 26% になった後、日没に向かう 14-18 時にはさらに減少を続けて最小値 5.3% を示した。18-22 時にも 7.4% と低い値であった。これとは対照的に、胃内容物充満個体 (f5) の割合は、14-18 時に最大値 60.6% を示した。

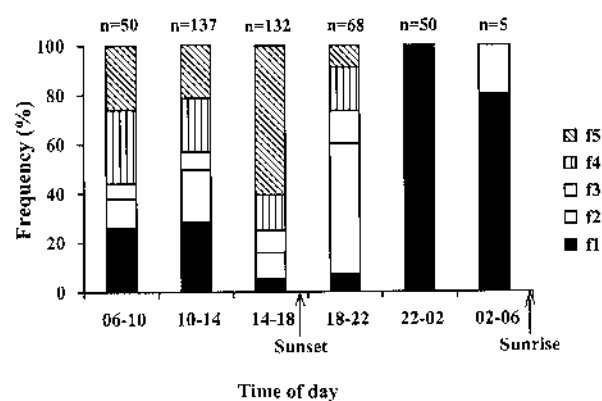


Fig. 4-4. Diel changes in the stomach fullness of juvenile skipjack collected in the tropical western Pacific from October to December 1994. Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few contents, an external shape is slender, and plica mucosae remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosae become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosae are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosae are completely disappeared, and a thin stomach wall.

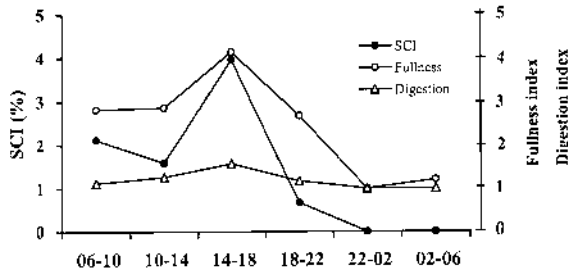


Fig. 4-5. Diel changes in mean values of the stomach content index (SCI), stomach fullness, and digestion index for juvenile skipjack. $SCI(\%) = SCW/BW \times 100$; SCW, stomach content weight (mg); BW, wet body weight (mg). Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosae remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosae become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosae are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosae are completely disappeared, and a thin stomach wall. Digestion index is defined as 1, shape of prey deformed, unidentifiable to higher taxa; 2, shape of prey preserved, but a part of appendages or capapace are separated, identifiable to higher taxa; 3, fresh prey, not digested.

日の出後の6 - 10時には26%、10 - 14時には21.7%であった。日没後の18 - 22時には、f5は急速に減少して8%となり、これに変わって空胃に近いf2の割合がこの時刻では最大値の52.9%を占め、f1と合わせると全体の60%が空胃またはほぼ空胃の状態であった。

次に、胃内容物充満度、胃内容物重量指数(SCI)、胃内容物消化度の平均値をそれぞれ求め、これら指数の経時変化を図4 - 5に示した。充満度指数は、深夜22 - 2時に1.0の最低値を示し、夜明けに向かう2 - 6時にはわずかに上昇して1.2となった。日の出を迎えた後の6 - 10時、10 - 14時には急速に増大して2.8程度となり、日没に近づいていく14 - 18時に最大値4.1を示した。その後は22 - 2時に向かって急速に低下した。SCIでは22 - 2時および2 - 6時に最小値0を示した後、6 - 10時および10 - 14時にはそれぞれ2.1および1.6となり、14 - 18時には最大値4.0を示した。一方、消化度指数では、充満度指数やSCIと比較して数値の変動幅が小さかったが、22 - 2時および2 - 6時に最小値、14 - 18時に最大値を持つ日周変化が認められた。

以上の結果から、カツオの稚魚期における摂餌活動は、早朝から夕方にかけての明るい時間帯に行われており、基本的には夜間は摂餌しないものと推定した。したがって、カツオ稚魚は典型的な視覚捕食者である

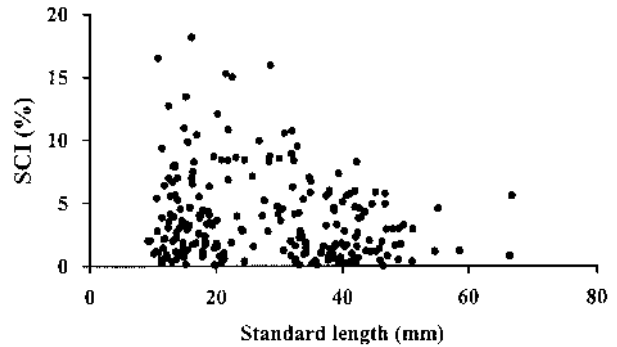


Fig. 4-6. Weight percentage of stomach contents to body weight for skipjack juvenile. $SCI(\%) = SCW/BW \times 100$; SCW, wet weight of stomach content (mg); BW, wet body weight (mg)

と言える。

4) 成長に伴う摂餌量の変化

稚魚期におけるカツオの摂餌量を明らかにするために、体長とSCIとの関係を図4 - 6に示した。SCIの体長別最大値、つまりこれをその体長時での最大摂餌量と見なすと、10 - 30mmSLで10 - 18%に達してピークを示した。30mm以上に成長するとSCIは漸減し、50 - 70mmSLで5%前後に落ち着く。

マグロ属稚魚の摂餌生態

1) 胃内容物組成

マグロ属稚魚の胃内容物として出現した動物群は、魚類仔魚を主体としてオキアミ類と頭足類のみが出現し、カツオ稚魚で見られたカイアシ類、端脚類、ヤムシ類、等脚類、魚卵は出現しなかった。マグロ属稚魚でも、消化によってどの動物群にも分類できない胃内容物が出現したため、これらを一括して種類不明消化物として取り扱った。

魚類仔魚は、マグロ属稚魚の80% (%F) が捕食しており、%Nでは全胃内容物中91.2%、%Wでは最も高い96.2%を占めた。したがって、魚類仔魚のIRIは15041となり、マグロ属稚魚にとっては全胃内容物の中で圧倒的に重要であることが明らかになった(図4 - 7)。マグロ属稚魚1個体当たりの魚類仔魚の捕食量は、1 - 14個体(平均2.6個体)、湿重量0.1 - 60.7mg(平均8.8mg)であった。マグロ属稚魚の胃内容物中にみられた魚類仔魚は、ほとんどの場合部分的あるいは全体的に消化作用を受けていたため(消化度2または1)、科レベルまでの同定ができなかった。未消化の魚類仔魚の中には、カタクチイワシ科の仔魚のほか、カツオ・マグロ属仔魚、クロタチカマス科の仔魚が出現し、マグロ属稚魚でも仔魚に対する共食いが起こっていた。カツオ・マグロ属仔魚の出現率は6.2%で、

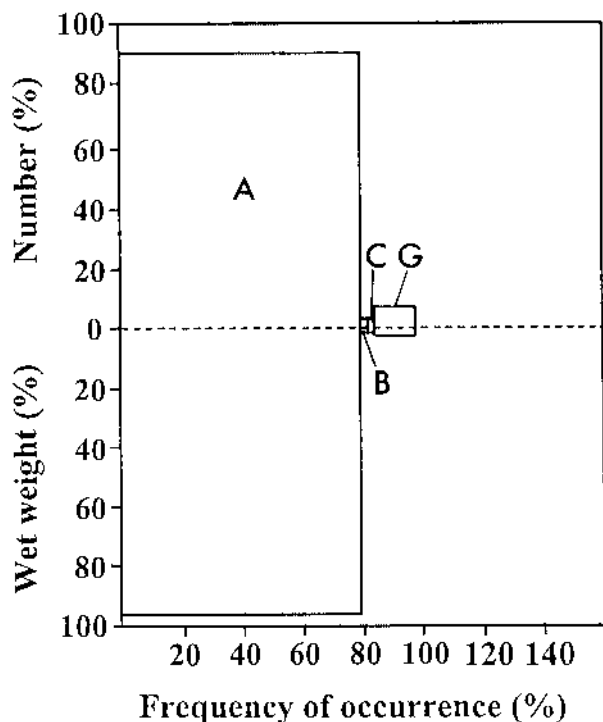


Fig. 4-7. The index of relative importance for each food item (IRI) that was calculated by percentage composition of major food items by number, wet weight, and frequency of occurrence in the stomach contents of other juvenile tuna. The area of each rectangle shows an IRI. A, fish larvae; B, Cephalopoda; C, Euphausiacea; D, Copepoda; E, Amphipoda; F, other prey taxa; G, unidentified prey.

カタクチワシ科仔魚は7%, クロタチカマス科仔魚は1.6%であった。

オキアミ類と頭足類の%F, %N, %Wは魚類仔魚に比べて低く、いずれも2%以下を示した。IRIでは、オキアミ類は2.0, 頭足類は2.5であった。オキアミ類の捕食量は全て1個体で、湿重量では1.3-2.5mg(平

均2.0mg)であった。頭足類の捕食量は、1-2個体(平均1.5個体), 湿重量4.4-5.2mg(平均4.8mg)であった。種類不明消化物の%Fは14.9%で、%Nと%Wはそれぞれ6.8%、2.5%, IRIは138.9であった。

以上の結果により、マグロ属稚魚の食性は比較的単純で、魚類仔魚に偏って摂餌していることが明らかになった。

2) 胃内容物の海域間比較

北赤道海流域と北赤道反流域におけるマグロ属稚魚の食性を、%F, %N, %W, IRIにより比較し、表4-3に示した。北赤道海流域で採集したマグロ属稚魚の胃内容物組成は魚類仔魚, オキアミ類, 頭足類, 種類不明消化物であったが、北赤道反流域では魚類仔魚と頭足類, 種類不明消化物であった。魚類仔魚の%Wは、北赤道海流域では92.6%, 北赤道反流域では97.7%に達した。魚類仔魚は、北赤道海流域では%Nで90.5%, %Fで75%を示し、北赤道反流域では%Nで92.8%, %Fで84.7%を示した。したがって、魚類仔魚の出現率は、%Wで評価した場合には海域によらず90%以上と圧倒的に重要な餌となっていることが明らかになった。これら結果からIRIを計算すると、北赤道海流域では13733, 北赤道反流域では16135となった。

オキアミ類は、北赤道海流域では出現率が1.5-3.9%でIRIが12.5となったが、北赤道反流域では出現しなかった。頭足類は、北赤道海流域では出現率が0.5-1.3%でIRIが2.3となり、北赤道反流域では出現率が0.6-1.2%でIRIが2.2であった。種類不明消化物は、北赤道海流域では4.4-18.4%出現し、IRIは219となった。北赤道反流域での出現率は1.7-11.8%と低かったため、IRIでは90.9と北赤道海流域の半分以下となった。

Table 4-3. Main prey taxa of other juvenile tuna in the north equatorial current (NEC) and the north equatorial counter current (NECC) areas.

	NEC area				NECC area			
	%F	%N	%W	IRI	%F	%N	%W	IRI
Fish larvae	75.0	90.5	92.6	13732.5	84.7	92.8	97.7	16135.4
Euphausiacea	3.9	1.5	1.7	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Copepoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Amphipoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cephalopoda	1.3	0.5	1.3	2.3	1.2	1.2	0.6	2.2
Others	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Unidentified	18.4	7.5	4.4	219.0	11.8	6.0	1.7	90.9

%F: frequency of occurrence of each food item in the total number of stomachs examined; %N: percentage of number of each food item to the total number of all food items identified; %W: percentage of wet weight of each food item to the total wet weight of all food items identified; IRI: index of relative importance of each prey item; $(\%N + \%W) \times \%F$.

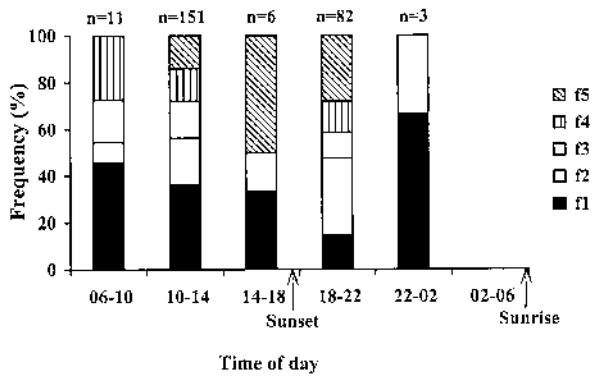


Fig. 4-8. Diel changes in the stomach fullness of other juvenile tuna collected in the tropical western Pacific from October to December 1994. Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosae remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosae become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosae are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosae are completely disappeared, and a thin stomach wall.

これらの結果から、マグロ属稚魚は北赤道海流域と北赤道反流域のいずれの海域でももっぱら魚類仔魚を捕食し、その他の餌生物はあまり利用していなかった点から、カツオよりもさらに魚食性が強いことが明らかである。

3) 摂餌活動の日周期性

マグロ属稚魚の胃内容物充満度の経時変化を図4-8に示した。空胃個体(f1)は22-2時に最も多く、全体の66.7%を占めた。この時間には、残り33.3%の個体もほぼ空胃状態(f2)にあった。空胃の割合は、日の出後の6-10時に45.5%、10-14時に36.4%、14-18時に33.3%へと減少し続け、18-22時には14.6%で最小値となった。一方、充満胃個体(f5)の割合は、22-2時および6-10時には0%、10-14時に13.9%となり、14-18時に最大値50%に達した。その後、18-22時には28.1%に減少した。

胃内容物充満度の平均値(充満度指数)、胃内容物重量指数(SCI)、胃内容物消化度の平均値(消化度指数)について、経時変化を図4-9に示した。充満度指数では、22-2時に最低値1.3を示したが、夜明け後の6-10時に2.3、10-14時に2.5へと増加を続け、14-18時には最大値3.3を示した。日没後の18-22時には3.1に減少し、さらに22-2時にかけても減少を続けた。SCIでは、10-14時、14-18時、18-22時に1.7%を示し、これらの時間帯の前後、6-10時と22-2時には0%であった。消化度指数では、6-10時に1.4

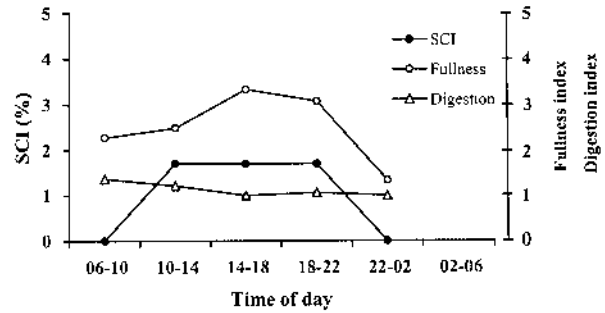


Fig. 4-9. Diel changes in mean values of the stomach content index (SCI), stomach fullness, and digestion index for other juvenile tuna. $SCI(\%) = SCW/BW \times 100$; SCW, stomach content weight(mg); BW, wet body weight(mg). Fullness of stomach contents is defined as f1, empty; f2, a stomach contains few content, an external shape is slender, and plica mucosae remain large; f3, a stomach contains a little contents, a round-like shape, and plica mucosae become small; f4, a stomach contains many contents, a round shape, and plica mucosae are almost disappeared; f5, a stomach contains full contents, plica mucosae are completely disappeared, and a thin stomach wall. Digestion index is defined as 1, shape of prey deformed, unidentifiable to higher taxa; 2, shape of prey preserved, but a part of appendages or capapace are separated, identifiable to higher taxa; 3, fresh prey, not digested.

を示し、10-14時に1.2、14-18時に1へとゆるやかな減少を続け、その後18-22時および22-2時には変化しなかった。

以上の結果から、マグロ属稚魚の摂餌活動は、早朝から夕方にかけての昼間に行われ、基本的には夜間は摂餌しないものと推定された。したがって、マグロ属稚魚もカツオと同様に典型的な視覚捕食者と見られる。

4) 成長に伴う摂餌量の変化

マグロ属稚魚の体長とSCIとの関係を図4-10に示した。体長10mmから20mmの間では、SCIの最大値が5%から13%まで増大し、ピークとなった。その後、体長30mm前後では7%に低下し、さらに体長55mmでは2%程度にまで低下した。

カツオの餌としての魚類仔魚の分布

カツオとマグロ属稚魚にとってIRIから評価した主要な餌である魚類仔魚の各調査点での採集量を、北赤道海流域と北赤道反流域に分けて表4-4に示した。北赤道海流域では合計11点で調査した。各仔魚の採集量は、カツオが3調査点で1-3個体、キハダが1調査点で2個体、マグロ属の1種が1調査点で3個体採集され、その他の魚類は10調査点で3-78個体が

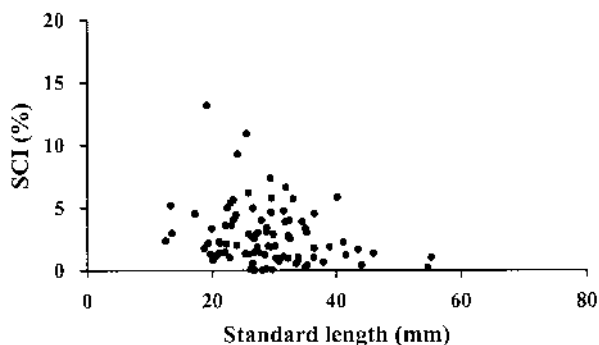


Fig. 4-10. Weight percentage of stomach contents to body weight for other juvenile tuna. $SCI(\%) = SCW/BW \times 100$; SCW, wet weight of stomach content (mg); BW, wet body weight (mg).

採集された。それぞれの平均採集個体数（総採集個体数 / 総調査点数）は、カツオ0.6, キハダ0.2, マグロ属の1種0.3, その他魚類23.1であった。これに対し、北赤道反流域では合計13点で調査した。各仔魚の採集量は、カツオが6調査点で1-11個体、キハダが1調査点で2個体、マグロ属の1種が2調査点で1個体ずつ採集され、その他の魚類は全調査点で3-98個体が採集された。それぞれの平均採集個体数は、カツオ1.7, キハダ0.2, マグロ属の1種0.2, その他魚類51.8であった。

考 察

胃内容物として出現した各餌生物を相対的重要度指数 (IRI, Pinkas *et al.* 1971) により評価した結果、西部太平洋熱帯海域におけるカツオ稚魚の餌生物として最も卓越していたのは、魚類仔魚であることが明らかとなった。オキアミ類, カイアシ類, 端脚類および頭足類もカツオ稚魚の胃内容物として出現したが、これらの相対的重要度は、北赤道海流域と北赤道反流域間で異なっていた。青木 (1999) によれば、マリアナ諸島沖海域からカロリン諸島周辺で採集されたカツオ稚魚の胃内容物中に出現した主な餌生物は、魚類仔魚, カイアシ類, オキアミ類, 頭足類であり、これら餌生物を重要度指数により評価し、最も優占的な餌生物は魚類仔魚であると結論づけた。彼はまた、カロリン諸島沖とマリアナ諸島沖で採集されたカツオ稚魚の胃内容物組成を比較し、カロリン諸島沖ではカイアシ類, オキアミ類, 頭足類など多様な胃内容物組成を示したが、マリアナ諸島沖ではこれらが出現しなかったことを報告した。マリアナ諸島沖は北赤道海流域に相当し、カロリン諸島沖は北赤道反流域に相当するが、北赤道反流域の胃内容物組成が北赤道海流域に比べて多様である点は、本研究結果と一致している。したがって、

カツオ稚魚は魚食性を基本としながらも、生息域の生物環境に応じてさまざまな種類の餌生物を利用しながら生活しているものと考えられた。

カツオとマグロ属稚魚の胃内容物組成の違いから、稚魚期における魚類仔魚に対する依存度は、マグロ属稚魚の方がカツオよりも高いことが示された。カツオ成魚にとっての主要な餌生物は、魚類, 甲殻類および頭足類であるが (Alverson 1963, Dragovich 1970, Dragovich and Potthoff 1972, 堀田・小川 1955, Nakamura 1965, Roger 1994), キハダやメバチなどマグロ属の成魚では、魚類に対する依存度がカツオよりも高いとされている (落合・田中 1998)。これらの結果は、カツオと他のマグロ類における摂餌選択性の違いが稚魚期と成魚期で共通していることを示すとともに、種としての食性の違いを表している。

カツオ稚魚の摂餌活動は、朝から夕方にかけての日中に行われていた。本種の仔魚と成魚も日中に摂餌することが知られており、これらを総合すると本種の摂餌活動が全ての生活史段階に共通して日中に行われると考えられた。すなわち、本種は一生を通じて視覚捕食者であると思える。一方、マグロ属稚魚は昼間摂餌活動をしていたものの、メバチの成魚では日中だけでなく夜間にも摂餌することが知られており (渡辺 1958), 本種の摂餌時刻は生活史段階に応じて変化する可能性がある。キハダを初めとした他のマグロ属では夜間に摂餌するという報告はないため、現段階では夜間の摂餌活動はメバチに特有の行動と考えられる。

本章で得られた稚魚期の食性と既存の仔魚期の知見を総合すると、主要な餌生物の種類は、カツオの初期生活史の中で成長段階によって変化するものと考えられる。仔魚期の主要な餌生物は、尾虫類を中心とした小型の動物プランクトンである (魚谷ら1981, Young and Davis 1990)。カツオ仔魚は成長による消化器官の発達にともなって、魚食性への依存度を増していくことが知られている (西川 1975, Tanaka *et al.* 1996)。耳石 (扁平石) の日輪観察によるカツオ仔稚魚の成長解析結果によれば、本種は稚魚期に入ると成長速度が著しく速くなる (第5章参照)。このような急激な成長は、稚魚期における魚食性の発現によりもたらされたとの解釈が可能ではないだろうか。カツオ稚魚の胃内容物中に見られたカイアシ類は、他の動物群に比べて個体のサイズが小さいため、これによって胃内を満たすには他の動物群よりも多くの個体数を捕食する必要がある。これに対して、魚類仔魚は個体サイズが大きく、他の動物群よりも少数で胃内を満たすことができ、摂餌回数が少なく済む点で効率的である。カツオ稚魚の主要な生息場である熱帯域は、一般に温帯域

Table 4-4. Collections of fish larvae as preys of skipjack and other tuna juveniles using by larval net in the tropical western Pacific during October to December 1994.

North equatorial current area

Station No.	Time	Locations (lat., long.)	No.of larvae			
			Skipjack	Yellowfin	<i>Thunnus sp.</i>	Others
94103	19:21	11 °00N ,136 °00E	0	0	0	0
94110	19:17	7 °00N ,141 °00E	2	0	3	78
94111	19:20	9 °01N ,141 °02E	2	0	0	42
94112	0:24	11 °00N ,141 °01E	0	0	0	3
94113	19:21	13 °20N ,141 °01E	0	0	0	27
94201	19:22	13 °00N ,149 °01E	3	0	0	19
94202	0:19	11 °00N ,147 °30E	0	0	0	52
94211	19:20	9 °00N ,157 °20E	0	0	0	6
94212	19:21	11 °00N ,156 °30E	0	0	0	2
94213	19:21	13 °00N ,155 °50E	0	0	0	4
94214	19:24	15 °00N ,155 °00E	0	2	0	21
Total			7	2	3	254
Mean			0.6	0.2	0.3	23.1

North equatorial counter current area

Station	Time	Locations (lat., long.)	No.of larvae			
			Skipjack	Yellowfin	<i>Thunnus sp.</i>	Others
94105	19:19	7 °00N ,137 °00E	1	2	0	20
94106	19:20	5 °00N ,137 °30E	0	0	0	33
94107	19:21	3 °00N ,138 °00E	0	0	0	61
94108	0:21	3 °00N ,140 °00E	0	0	1	74
94109	19:20	5 °00N ,141 °00E	0	0	0	3
94203	19:18	9 °00N ,146 °00E	11	0	0	43
94204	19:18	7 °00N ,147 °20E	4	0	0	81
94205	19:19	5 °00N ,148 °40E	0	0	0	38
94206	19:19	3 °00N ,150 °00E	2	0	0	98
94207	19:23	3 °00N ,152 °30E	2	0	0	91
94208	0:19	3 °00N ,155 °00E	0	0	0	36
94209	19:24	5 °00N ,156 °00E	2	0	0	85
94210	19:18	7 °00N ,157 °00E	0	0	1	10
Total			22	2	2	673
Mean			1.7	0.2	0.2	51.8

に比較して貧栄養であることから、餌生物量は温帯域より熱帯域の方が相対的に少ないと考えられる。このような環境下でより速く成長することは、生態系内で弱い立場にある仔稚魚期をできる限り速く通過し、生残率を高くする上で重要な戦略であると考えられる。

第3章で詳しく記述したように、西部太平洋熱帯域では、カツオ稚魚は NEC 海域から NECC 海域にかけて広範に分布していたのに対し、マグロ属稚魚は南側の NECC 海域を中心に分布していた(田邊ら 1998)。鉛直分布では、カツオ稚魚が水深40 - 120m層を中心に出現したのに対し、マグロ属稚魚の分布の中心は0 - 80m層であり、カツオよりも浅かった。ここで重要な点は、このようなカツオとマグロ属稚魚の分布生態の相違と本研究結果から得られたカツオ・マグロ属稚魚の食性の相違との関係である。1つの仮説として、カツオ稚魚はマグロ属稚魚よりも水平的、鉛直的により広い範囲に分布することにより、より多様な餌生物を利用することが可能になったことが考えられる。より多くの種類の餌生物を利用できることの利点として、初期生活史の中での生残率を高くすることが期待できる。両者の分布と食性における相違は、仔魚期においても見られることから(Boehlert and Mundy 1994, Davis *et al.* 1990, 魚谷ら 1981, Young and Davis 1990), 熱帯の外洋表層域においてカツオとマグロ属の仔稚魚が生態上の棲み分けを行っているものと考えられる。

カツオ・マグロ類では、しばしば仔稚魚に対する共食い現象が起こることが知られている(青木 1999, Dragovich 1970, Dragovich and Potthoff 1972, 堀田 1953, 飯塚ら 1989, King and Ikehara 1956, 森 1972, Nakamura 1965, 須田 1953, Yoshida 1971)。本研究においても、カツオ・マグロ属稚魚とも胃内容物中にこれらの仔魚が認められた。本研究の対象とした西部太平洋熱帯海域では、カツオ・マグロ属仔魚の胃内容物からの出現率は38 - 62%であった。中部熱帯太平洋では24 - 44%と高い出現率が報告されており(Nakamura 1965), これは他の報告における出現率よりもかなり高い。これらの知見から、カツオ・マグロ類では、主要な再生産の場である熱帯外洋域において、成魚が幼魚を、幼魚が稚魚を、稚魚が仔魚を捕食する共食い現象が、至る所で日常的に起こっていると推定できる。このような共食いによる食物連鎖は、カツオ・マグロ類にとってどのような生態的意味をもつのであろうか。飯塚ら(1989)はカツオの共食い現象について、大型個体の成長と発育を支えることにより、カツオ資源全体の安定に貢献するという考えを示した。環境条件の季節変化が比較的少ない熱帯域では、周年に

わたりカツオ仔稚魚が出現することから、熱帯の外洋表層域では、さまざまな大きさ(生活史段階)のカツオが同じ分布域に同時に生息することが推測できる。減耗率の高い初期生活史段階では、比較的餌生物の少ない熱帯外洋域において、カツオの最も重要な餌である魚類を自ら供給することにより、個体の生き残りや成長を助け、資源への加入量を安定化させる意義があるのではないだろうか。本種がここでの初期生活史をどのように過ごすかにより、その後の資源への加入量が左右されると考えられる。したがって、これらの基本的な生物過程を把握することが、資源の加入機構を明らかにする上で重要である。

第5章 初期成長

魚類の生活史において、卵からふ化後の仔魚期、さらに稚魚期へと移行していくいわゆる初期生活史段階は、一般に最も激しく減耗し、急激に個体数が減少する時期にあたる。一方、その中で生き残った個体の内部においては、生活していくための様々な器官形成や機能発達が進行しながら、外部では個々を取り巻く生態系内での激しい生存競争が繰り広げられる。外洋表層域の生態系内において、高次捕食者の1種に数えられるカツオといえども、初期生活史段階では魚食性魚類をはじめとした多くの捕食者に捕食され高い減耗率を示す。したがって、この仔稚魚期をいかなる成長様式で乗り切るかによって、種としての生き残り戦略が特徴づけられると考えられる。カツオは主として熱帯の外洋表層域を初期生活史の場として利用していることが確認されているが(田邊ら 1998), 周年高水温が維持され環境変動も少ない一方で温帯域に比べて貧栄養とされるこの海域で、どのような成長様式と生き残り戦略を展開し、資源への加入量を確保しながら個体群を維持し続けてきたのであろうか。本種の産卵は長期間連続的に行われ、1個体当たりの産卵数は体重4kgの雌で1産卵期に3000万粒と推定されている(Hunter *et al.* 1986)。西部太平洋における成熟魚の出現海域は、熱帯から亜熱帯にかけての外洋域であり、北半球の夏季(4 - 9月)には35°Nから15°Sの広大な海域に広がる(永沼 1979)。このような雌1個体の産卵量の多さと産卵場の広さ、さらに産卵期の長さから、資源全体としての産卵量の膨大さを伺い知ることができる。このような本種の産卵特性は、初期生活史において一定の個体数を残すための重要な生残戦略であろうと推察される。一方、本種の後期仔魚における形態的特徴として、体の大きさに比較して巨大な頭部が挙げられ、大きな目と口裂が成長過程において

Table 5-1. Characteristics of skipjack tuna used for otolith increment analysis.

Years	Periods	Vessls	Locations	Nets	No. of samples	Size (mm SL)
1994	11 .01 - 12 .07	Omi	0 - 15 N ,130 - 160 E	TANSYU-2	397	8.6 - 114.1
1995	10 .29 - 12 .07	Omi	0 - 20 N ,130 - 160 E	TANSYU-2	399	8.6 - 57.7
1996	11 .10 - 12 .01	Wakataka	0 - 20 N ,130 - 160 E	MOCNESS	3	3.4 - 5.3
1997	4 .20 - 6 .01	Shin-riasu	0 - 35 N ,130 - 150 E	bongo net	12	3.3 - 7.6

比較的早期に発現する魚食性を形態面から支持すると考えられる(落合・田中 1998, Tanaka *et al.* 1996)。

近年魚類の成長研究において、耳石の日輪を用いた日齢解析がさかんに行われるようになり、初期成長様式の解明が進むとともに資源動態研究への応用がなされている(Jenkins and Davis 1990, Meekan and Fortier 1996, Watanabe and Kuroki 1997, Watanabe *et al.* 1997)。とりわけ初期の成長と生残過程を明らかにすることは、資源への加入量変動機構を解明するための鍵になるといった認識も高まりつつある(渡邊 1997)。一方、カツオについては研究史で述べたように初期成長に関する知見がごく限られたものしかなく、初期の成長様式や生残過程はほとんど不明とされてきた。本研究の第3章および第4章では、カツオが初期生活史においてどのような分布の特徴をもち、どのように摂餌活動を行っているかといった熱帯外洋表層域での生活様式を示したが、仔稚魚の成長様式はこれらの生態と密接に関連しているものと考えられる。本章では、耳石日輪を用いて西部太平洋熱帯域におけるカツオの仔魚期から稚魚期にかけての成長過程を明らかにすることにより、その生残戦略について考察した。

材料および方法

カツオ仔稚魚標本の採集と保存

仔魚：耳石日輪観察のためのカツオ仔魚標本は、1996年11 - 12月に水産庁東北区水産研究所の漁業調査船若鷹丸(692トン)による西部太平洋熱帯域におけるカツオ幼魚の生息環境調査、1997年4 - 6月に岩手県立宮古水産高等学校の漁業実習船新りあす丸(471トン)による日本周辺及び南方水域におけるカツオ資源構造調査において採集した。カツオ仔魚の採集には、若鷹丸では開口部面積1 m²型のMOCNESS(網目合330 μ m)を使用し、新りあす丸では口径70cm型ボンゴネット(網目合335 μ m)を使用した。MOCNESSは西部太平洋熱帯海域(0 - 20 N, 130 - 160 E)において水深0 - 200 mで6層の層別採集を行い、ボンゴネットは本州南岸沖～グアム・パラオ周辺海域(0 - 35 N, 130 - 150 E)

において水深20 - 30m層で20分間の水平曳きを行った。それぞれのネットにより採集した標本は、80%アルコール中に保存して持ち帰り、実験室において種の同定を行ってカツオ仔魚を取り出した。カツオ仔魚は、実体顕微鏡下で外部形態の観察により沖山(1993)に従って査定し、1996年に採集された3個体(体長3.4 - 5.3mm)と1997年に採集された12個体(体長3.3 - 7.6mm)を耳石日輪の観察に使用した。

稚魚：耳石日輪観察のためのカツオ稚魚標本は、1994年および1995年10 - 12月に山口県立水産高等学校の漁業実習船青海丸(403トン)による西部太平洋熱帯水域におけるカツオ稚魚の分布調査においてTANSYU2型中層トロール網により採集した。本研究で使用したカツオ稚魚並びに仔魚標本の採集データの概要を表5 - 1に示す。これらの標本は、採集後ただちに船上で80%アルコール中に保存し、後述する耳石日輪観察のための処理を行うまで実験室内に常温で保管した。1994年の調査では、0 - 15 N, 130 - 160 Eの海域内に設定した27定点において昼夜にわたり水深40 - 60m層または80 - 100m層での1時間水平曳きを行った。合計98回の中層トロール曳網によって得られた1662個体のカツオのうち、8定点15回の曳網によって採集された397個体(体長8.6 - 114.1mm)を耳石日輪解析用の標本として使用した。1995年の調査では、0 - 20 N, 130 - 160 Eの海域内に設定した20定点において、昼夜にわたり水深0 - 200mでの1時間水平曳きによる20mごとの層別採集を行った。合計75回の曳網によって得られた2928個体のカツオのうち、5定点9回の曳網によって採集された399個体(体長8.6 - 57.7mm)を用いて耳石日輪解析を行った。カツオ仔稚魚の標本が採集された位置を図5 - 1に、体長組成を図5 - 2にそれぞれ示した。

耳石の摘出と輪紋観察のための前処理

1) 仔魚

耳石日輪観察のためのカツオ仔魚は、万能投影機を使って拡大した画面上で標準体長(standard length, SL)を0.1mm単位で測定した。実体顕微鏡下で、柄付き針を用いて左右の扁平石を摘出した。取り出した扁

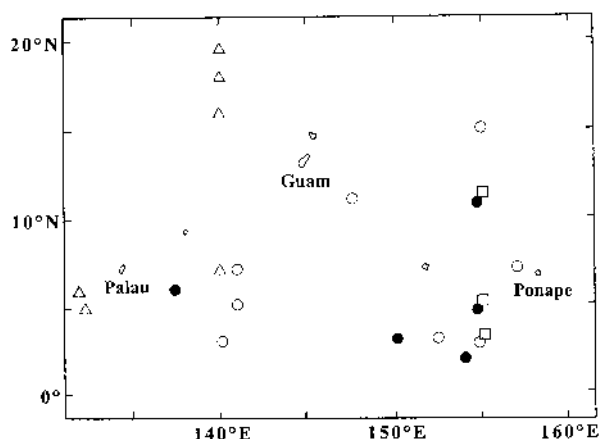


Fig. 5-1. The sampling locations for the otolith daily increment analysis of skipjack tuna collected during the 1994 *Omi Maru* (△), 1995 *Omi Maru* (○), 1996 *Wakataka Maru* (□), and 1997 *Shinriasu Maru* (●) cruises.

平石は、蒸留水中で付着した体組織を取り除いてから乾燥させ、エナメル樹脂でスライドガラス上に固定した。これを光学顕微鏡下で透過光により対物レンズ100倍で観察した。

2) 稚魚

肉眼で吻端と下尾骨の後端を確認しながら、ノギスを使って0.1mm単位で標準体長を測定した後、頭部を鰓蓋後縁付近から切り取った。ついで頭部を体軸を含む突状面を通るよう左右2等分に切開し、実体顕微鏡下で左右の扁平石を取り出した。これらの扁平石は、蒸留水中で付着した魚体組織を取り除いてから乾燥させ、市販のマイクロプレートに収納して常温で保管した。

稚魚の耳石は、市販のラッピングフィルム(1.39 μ m)を用いて扁平面(sagittal plane)の両側を研磨してから輪紋を観察することとした。スライドガラス上でエナメル樹脂とエナメル薄め液との混合液を作って体表側の面が上を向くように扁平石を包埋し、最低2日間以上常温で放置して硬化させた。ついでこのスライドガラスを実体顕微鏡のステージ上に置き、包埋された扁平石の上からラッピングフィルムをあて、凸部が削りとられて扁平面が平らになるまで研磨した。片面の研磨が終わった扁平石は、エナメル薄め液を使ってエナメル樹脂を溶解させ、裏返して体軸側の面が上を向くようにし、外側面と同様に処理して研磨した。光学顕微鏡で核から縁辺までの輪紋が観察できる状態になるまで研磨した後、これに上からエナメル樹脂を被せて研磨面を保護し、輪紋観察を行った。

耳石日輪の計測と解析

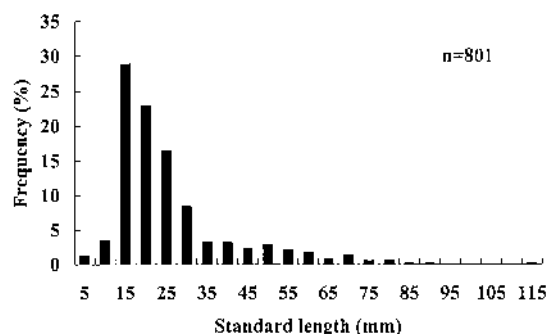


Fig. 5-2. Length-frequency distribution of skipjack tuna for the otolith daily increment analysis. The specimens were collected from October to December 1994 and 1995, from November to December 1996, and from April to June 1997 in the tropical western Pacific (0 - 20°N, 130 - 160°E).

1) 輪紋の観察および計測

上述の前処理を終えた扁平石は、耳石日輪計測システム(ラトックシステムエンジニアリング ARP/W)を使って輪紋の観察と計測を行った。本システムは、光学顕微鏡(オリンパス BX60)と CCD カメラ、モニター、パソコン、計測ソフトによって構成されている。計測にあたっては、光学顕微鏡からの観察像がカメラを通してモニター上に写しだされ、計測者は接眼レンズとモニター上の両方で日輪の位置を確認しながら、画面上で耳石の中心(核)に中心点を入力した後、中心から縁辺に向かって計測線を引いた。次いで核から縁辺に向かって1本ずつ日輪を読みとり、各日輪の外縁に計測点を入力した。この作業により各個体の日輪数と各輪紋間隔が磁気ファイルとして保存される。研磨しても輪紋の計測が不可能と判断された個体については、計測作業から除外した。

仔魚の扁平石では、外形がほぼ円形をしているため計測方向は固定せず、最も輪紋の見えやすい部分に計測線を設定し、対物レンズ100倍で計測した。これに対し稚魚の扁平石では、通常核から後方側の postrostrum 方向に向かって最も輪紋のよく見える部分で計測線を設定し、各日輪の位置を確認しながら対物レンズ50倍で計測作業を行い、読みにくい場合には対物レンズを100倍に変更して詳しく観察した。仔稚魚ともに扁平石の核から縁辺までの最長距離を測定し、耳石半径として記録した。

稚魚期における日輪形成の確認:カツオの仔魚期における耳石日輪の形成については、Radtko(1983)の報告があり、本研究ではこれを参照しながら日輪の観察と計測を行った。しかしながら、稚魚期における耳石日輪の形成についてはこれまで確認されていなかったため、本研究で使用した稚魚から得られた輪紋計測データを用いて、輪紋形成周期の確認を行った。供試

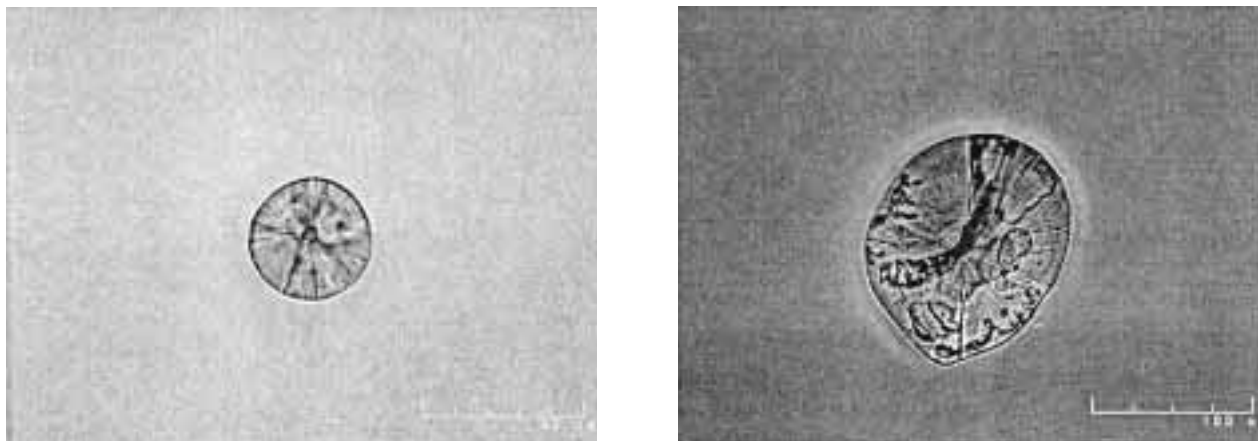


Fig. 5-3a. The light microscopic photographs of the saggital otolith for larval skipjack. The standard length of the specimens is 3.4mm (left) and 7.6mm (right). The shape of the otolith is a round at first stage but changes to an oval in a short time and the rostrum appeared in the frontal side.

魚としては、上述の1995年青海丸調査航海で採集したカツオ稚魚のうち4定点7曳網で得られた採集時刻の異なる稚魚122個体(体長12.9 - 39.8mm)を使用した。これら稚魚の扁平石は、縁辺部が最後まで明瞭に観察できる個体のみを使用した。各個体の縁辺成長率(C)を求めるために、以下に示す式を用いた(Gartner, Jr. 1991)。

$$C = W_n / [(W_{n-1} + W_{n-2}) / 2] \times 100$$

ここで、 W_n は一番外側にある輪紋、いわゆる最外輪紋の幅(μm)、 W_{n-1} および W_{n-2} は最外輪紋の内側1本目および2本目のすでに完成された輪紋の幅(μm)を示し、Cの値が100%に達すると縁辺部の新しい輪紋が完成したことを意味する。各個体について求めたCを縦軸に、その個体が採集された時刻を横軸としてプロットし、縁辺成長率の経時変化を調べることにより輪紋形成に日周性があるかどうか確認した。

2) 成長解析

輪紋数および輪紋間隔データの解析に基づいて、西部太平洋熱帯海域でのカツオの仔魚期から稚魚期にかけての成長過程を明らかにした。各個体の日輪数および輪紋間隔データを比較することにより、個体レベルでの成長過程を調べるとともに、同じ調査点で採集された群の中での成長差や生息海域間での成長差、年の違いによる成長差の有無について検討した。

結 果

耳石および輪紋の形態変化

1) 耳石の外部形態

仔魚期における扁平石の外観は、多少の個体差が見られるものの総じて円形またはそれに近い形状をしていた。カツオ仔魚(3.3 - 7.6mm SL)の扁平石では、小型の個体ほど歪みの少ない真円形に近かった。この時期の扁平石は厚みが薄く、色はほぼ無色で光の透過率も高かった(図5-3a)。

仔魚期の終わりから稚魚への移行直前にある個体(8.6 - 9.4mm SL)の扁平石では、体軸に対して前後方向の成長速度が上下方向の成長速度を上回るようになるため、楕円形を呈するようになった。前方の下側ではrostrumと通称される突出部が出現し始めていた。

稚魚期への移行を終えた個体の扁平石(13.7mm SL)では、rostrumの伸長とともにrostrumの上側にanti-rostrumと通称される小規模の突出が出現した。体表側の扁平面では、中央部が隆起する丘型あるいは山型となったのに対し、体軸側の扁平面では、中央部が陥没し、体軸の前後方向にsulcusと通称される深い溝状構造が形成された。この溝は、通常扁平石の前方から後方まで縦断していたが、中央部では円形をしている場合も見られた。溝の深さは中央部で深く、前方と後方で浅い場合が一般的であった。扁平石内部には、多くの個体で亀裂構造が複数認められ、これらが輪紋観察の障害となった。これら亀裂構造の形状や数は個体によって異なっており、その成因について外観から推測することは難しいが、おそらくは扁平石の形成過程において個体内部で起こった生理的要因などにより生じたものと推定される。標準体長33.7mmの扁平石では、全体に厚みを増して外形に凹凸が目立つようになり、この凹凸は成長とともに大きくなった(図5-3b)。Rostrumの長さは全体の3分の1に達して二等辺三角形型を呈するとともに、体表方向に反り返るような形状になった。標準体長50mm以上になると、扁平

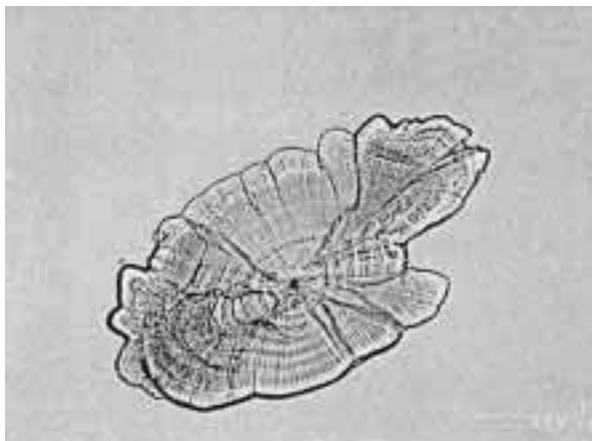


Fig. 5-3b. The light microscopic photographs of the sagittal otolith for juvenile skipjack at 33.7mm SL. Irregularities on the surface of the otolith increase with growth.



Fig. 5-3c. The light microscopic photographs of the sagittal otolith for juvenile skipjack at 51.8mm SL. The shape of the otolith become to be complicated and to be extended along rostrum-postrostrum axis.



Fig. 5-4. The light microscopic photographs with the otolith measurement system for juvenile skipjack at 29.8mm SL. The increment width increases from the core to the margin. Number of the daily increments observed in the specimen is 15.

石の外形は全体的に丸みがなくなり、前方には rostrum と antirostrum の尖った構造を持つ長方形に近い形状になった(図5-3c)。縁辺部では、外側に向かって沈着した成分が複雑に連なって張り出す構造が目立つようになった。

2) 輪紋の形状

カツオ仔稚魚の扁平石の輪紋は、基本的には以下のように観察できた。扁平石の中心部に黒く見える核が存在し、その外側から縁辺に向かって連続的に輪紋が形成されていた(図5-4)。個々の輪紋は、透過光で明るく見える成長層と呼ばれる部分と、暗く見える不連続層と呼ばれる部分によって構成され、これらが交

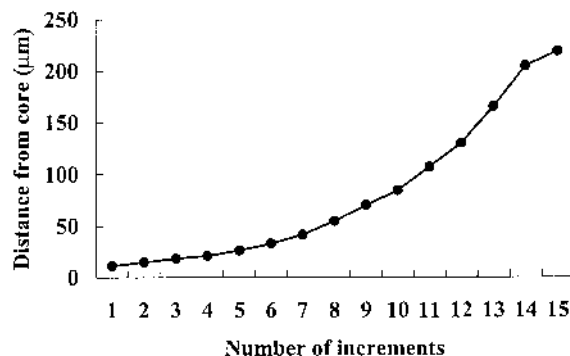


Fig. 5-5. The distance from the core to the margin for the sagittal otolith of juvenile skipjack.

互に外側に向かって規則的に配列している。一般に成長層はカルシウムを豊富に含む層であるのに対し、不連続層はタンパク質などの基質が豊富で相対的にカルシウム含有量が少ない層である(麦谷 1988)。

仔魚の扁平石では、光学顕微鏡で下側から透過光を当てることにより中心部の核と日輪を容易に観察することができた。この時期には日輪もほぼ真円状で、耳石日輪計測システムによる輪紋数の計数も容易に行うことができた。1996年と1997年に採集した標準体長3.3 - 7.6mmのカツオ仔魚15個体の日輪数は3 - 9本で、輪紋間隔は2 - 4 μmと狭かった。体長10mm以上になると輪紋形状も前後方向に長い楕円状となり、一般に第5 - 6番目の日輪以降の輪紋間隔は外側に向かって5から15 μmまでと次第に拡大していった。標準体長15 - 35mmのカツオでは、輪紋間隔は外側に向かってさらに広くなり、第10日輪以降の輪紋間隔は15 - 40 μmとなった(図5-5)。この時期の輪紋の一般的な特徴は、不連続層の幅が広く、成長層と同じぐらいの場合によ

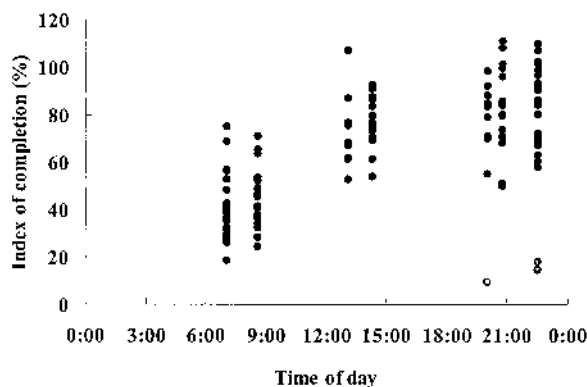


Fig. 5-6. Diel change in the index of completion (C) of the marginal increment of the saggital otolith for juvenile skipjack. $C(\%) = W_n / [(W_{n-1} + W_{n-2}) / 2] \times 100$; W_n , width of the marginal increment; W_{n-1} , width of the previous complete increment that exists inside of the marginal one; W_{n-2} , width of the previous complete increment that exists inside of the W_{n-1} .

っては成長層よりも広い個体も見られた。各日輪の間には、扁平石の成長が速くなるにつれほぼすべての個体において複数の subdaily ring と考えられる微細な輪紋が認められ、その数は一般に第6 - 10日輪では2 - 3本、第10日輪以降では5 - 8本であった。カツオの扁平石は成長に伴って立体的で複雑な形状を呈するようになるため、大型個体ほど輪紋観察は難しくなった。

輪紋形成周期の検証

縁辺成長の解析に用いたカツオ稚魚が採集された時刻は、朝7時台と8時台、午後1時台と2時台、夜8時台と10時台であった。供試魚の輪紋数は12 - 16本であった。

カツオ稚魚での縁辺成長の経時変化を観察したところ(図5 - 6), 一般に早朝から夕方にかけて成長層の形成が進行し、夕方から夜間には不連続層が形成される明瞭な傾向が認められた。これらが1対となって、縁辺部に新たな日輪が完成する。といっても各時間帯における縁辺成長率の個体差はいずれも大きく、個体によって日輪形成の進行速度にはかなりのばらつきが存在した。夜8時に採集された稚魚のうちの1個体と夜10時30分に採集された稚魚の2個体、合計3個体については、最外輪紋が完成したあと、さらに新しい日輪の形成が始まった段階にあると判断したため、縁辺成長率の平均値を計算する際にはこれらの数値を除外した。また、個体によっては縁辺成長率が計算上100%を超える数値(101.0 - 110.6)を示す個体が10個体あったが、これらはすでに完成している輪紋の幅(縁辺成長率の計算に用いた最外輪紋の内側1番目と2番目

の輪紋幅の平均値)よりも最外輪紋の幅が広がっていたために起こった現象である。

朝7時台に採集されたカツオ稚魚21個体の縁辺成長率は、18.3 - 74.7% (平均41.0%), 8時台の19個体では24.1 - 70.8% (平均45.3%)で、この時間帯に採集された多くの個体の縁辺成長率が50%に達しておらず、成長層の形成が進行途中にあった。午後1時台の10個体では52.4 - 107.0% (平均73.3%)、2時台の14個体では53.6 - 92.4% (平均76.8%)で、これらの時間帯にはすべての個体の縁辺成長率が50%を越え、平均値ではすでに最外輪紋形成の4分の3が完了した状態にあった。夜8時台では、8時に採集された11個体の縁辺成長率が54.7 - 98.1% (平均80.4%)、8時45分に採集された19個体では49.7 - 110.6% (平均82.9%)に達した。さらに、夜10時30分に採集された28個体の縁辺成長率は58.0 - 109.8%、平均86.8%に達し、多くの個体で最外輪紋の完成に近い状態にあることを表していた。

耳石日輪解析による仔稚魚期の成長

1) 耳石半径と体長との関係

カツオ仔稚魚の扁平石の耳石半径と標準体長との関係をプロットし、これに1次回帰直線を当てはめて図5 - 7に示した。1994年の仔稚魚230個体のデータでは、回帰式の傾きが0.12で、決定係数0.97の高い相関関係が得られた。1995年の仔稚魚246個体のデータでも決定係数が0.96と高い相関関係が得られ、回帰式の傾きは0.13であった。1994年と1995年の回帰直線の傾きには有意差は認められなかった。1996年と1997年の仔魚については、データ数が少ないために15個体分をまとめて1つの回帰式に当てはめた結果、決定係数は0.86と高い相関関係が得られ、傾きは0.08であった。

2) 日齢, ふ化日

1994年採集の仔稚魚397個体の中から285個体について、1995年採集の仔稚魚399個体の中から248個体について、日輪計数データを得ることができた。1996年および1997年採集の仔魚については、供試した3個体および12個体全てについてそれぞれ日輪数を計測した。1994年と1995年採集の仔稚魚について、日輪計数個体の体長組成を図5 - 8に示す。日輪計測魚の体長範囲は、1994年8.6 - 49.6mm, 1995年8.6 - 57.7mm, 1996年3.4 - 5.3mm, 1997年3.3 - 7.6mmであった。1994年の計測魚では、標準体長10 - 15mmが全体の58%を占めていたが、1995年の計測魚では標準体長15 - 20mmが全体の32.3%と最も多かった。

調査魚の日齢組成を図5 - 9に示す。Radtko(1983)によれば、カツオの仔魚ではふ化した翌日に第1輪が

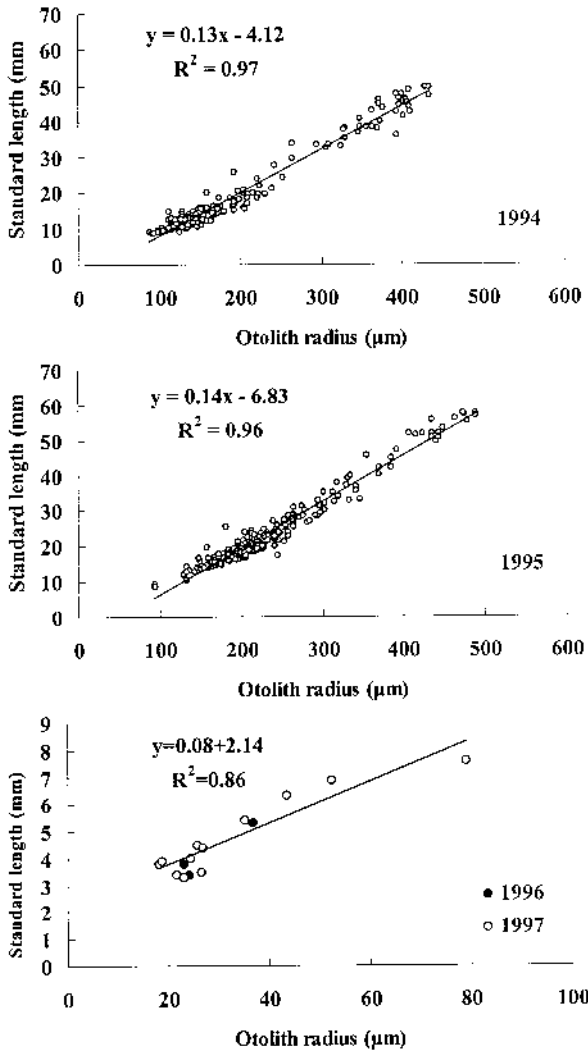


Fig. 5-7. Relationship between standard length of skipjack tuna and the sagittal radius.

形成される。したがって、日輪数はそのまま日齢に置き換えることができる。各年の日齢範囲は、1994年9 - 24日、1995年9 - 29日、1996年6 - 8日、1997年3 - 9日であった。1994年には日齢12日に、1995年には日齢14日にモードがあり、それぞれ全体の21.7%および30.2%を占めていた。

1994年および1995年採集の仔稚魚について、日齢から逆算してふ化日を求め、ふ化日組成を求めた(図5 - 10)。1994年のふ化日は10月23日から11月23日までの32日間で、最も多かったのは11月18日の14.3%であった。1995年のふ化日は10月19日から11月22日までの35日間で、最も多かったのは11月11日と12日のそれぞれ14.1%であった。これらの結果は、1ヶ月の間にカツオの産卵・ふ化にいくつかのピークのあることを示している。1994年と1995年の両方の年に規模の異なる4回のピークがそれぞれあったことが読みとれる。

3) 体長と日齢との関係

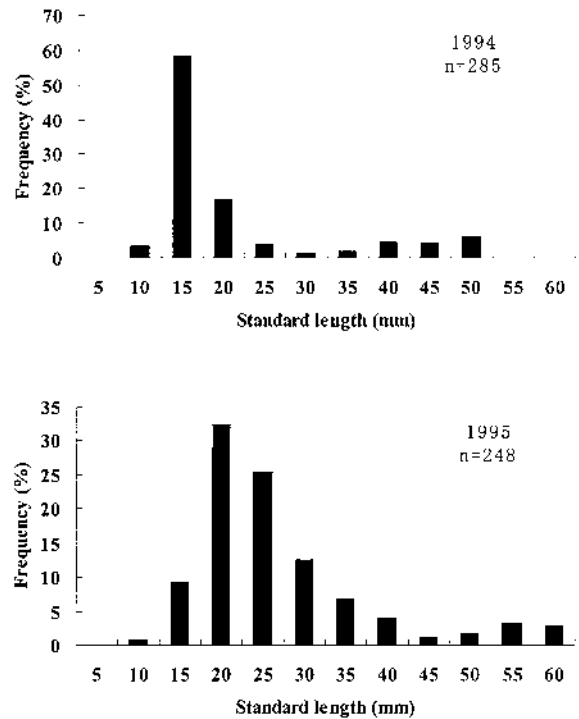


Fig. 5-8. Length-frequency distribution of skipjack tuna that were collected in November to December 1994 (top) and 1995 (bottom) and were used for the otolith increment analysis.

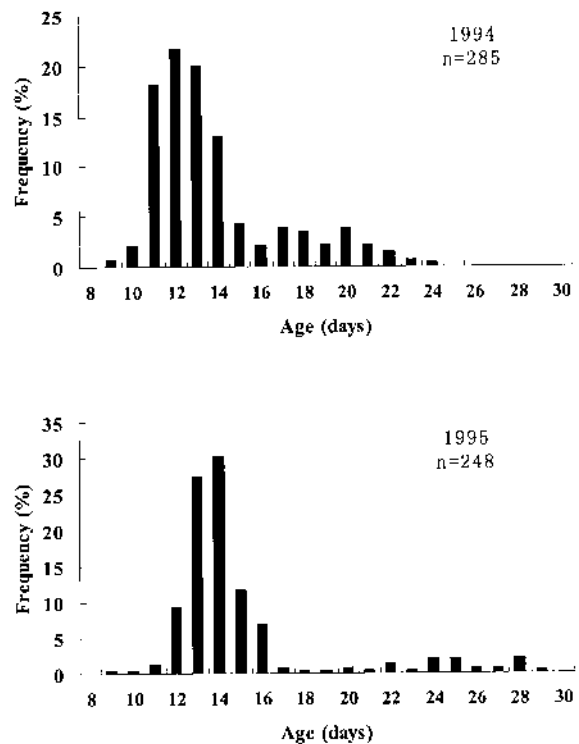


Fig. 5-9. Frequency distribution of age (days after hatching) estimated by the daily increment analysis for skipjack tuna.

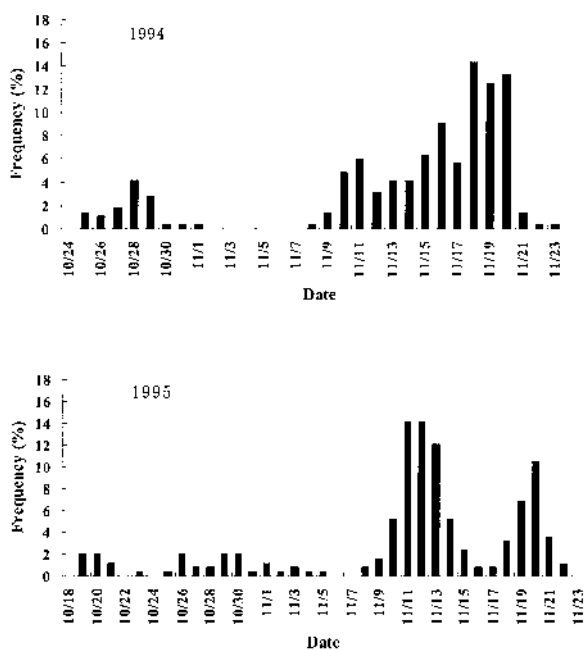


Fig. 5-10. Frequency distribution of the birthday estimated by the daily increment analysis for skipjack tuna.

1994年11 - 12月に採集した仔稚魚と1995年11 - 12月に採集した仔稚魚について、採集位置ごとに標本数と標準体長、日齢とそこから逆算して求めたふ化日を表5 - 2に示した。各調査点の日齢データ数は、1994年の仔稚魚について7調査点で1 - 142個体、1995年の仔稚魚については5調査点で14 - 112個体と、調査点によってデータ数が異なっているが、これは調査点による採集標本数の違いを反映しているためである。日齢データが得られた標本の体長範囲も調査点ごとに異なっている。

カツオ仔稚魚の日齢と体長との関係を採集位置ごとにプロットし、それぞれに対して1次回帰直線を当てはめた結果を図5 - 11a および図5 - 11b に示した。1994年11 - 12月に採集した仔稚魚のうち、調査点94108については標本数が1個体であるためこの図には含めなかった。同一日齢での各個体の標準体長を比較すると、どの調査点でも大きな個体差が見られた。1994年の仔稚魚では、St94110の17日齢の個体間で15.9mmの体長差が観察された。以下同様に、St94202の13日齢で6.1mm、St94207の13日齢で5.6mm、St94208の14日齢

Table 5-2. Composition of size, age, and birthday for skipjack tuna estimated by the daily increment analysis.

1994 years

Stations	Locations	No. of samples	Size(mean) (mm SL)	Age(mean) (days old)	Birthday(collected) (month. day)
94108	3 N ,140 E	1	24.0	15	10.25(11.09)
94110	7 N ,141 E	35	12.2 - 33.8(19.1)	10 - 17(14.2)	10.25 - 11.01(11.11)
94202	11 N ,147 30E	34	9.2 - 18.8(13.0)	9 - 15(12.4)	11.08 - 11.14(11.23)
94207	3 N ,152 30E	23	10.2 - 16.3(13.0)	12 - 15(13.6)	11.14 - 11.17(11.29)
94208	3 N ,155 E	142	8.6 - 25.8(13.2)	9 - 17(12.0)	11.14 - 2X(11.30 - 12.01)
94210	7 N ,157 E	46	32.6 - 49.8(41.9)	16 - 24(19.5)	11.09 - 11.17(12.03)
94214	15 N ,155 E	5	8.9 - 18.7(12.7)	14 - 17(16.0)	11.20 - 11.23(12.07)

1995 year

Stations	Locations	No. of samples	Size(mean) (mm SL)	Age(mean) (days old)	Birthday(collected) (month. day)
95105	6 N ,137 20E	14	18.6 - 27.3(22.3)	12 - 16(14.9)	10.19 - 10.23(11.04)
95204	3 N ,150 E	29	31.3 - 57.7(47.3)	18 - 29(24.1)	10.25 - 11.05(11.23)
95205	2 N ,154 E	112	13.3 - 42.3(23.3)	12 - 17(13.8)	11.08 - 11.14(11.25 - 26)
95206	5 N ,155 E	30	8.6 - 31.2(19.2)	9 - 14(12.7)	11.13 - 11.18(11.27)
95208	11 N ,155 E	63	12.9 - 34.4(18.6)	11 - 16(13.7)	11.17 - 11.22(12.03 - 04)

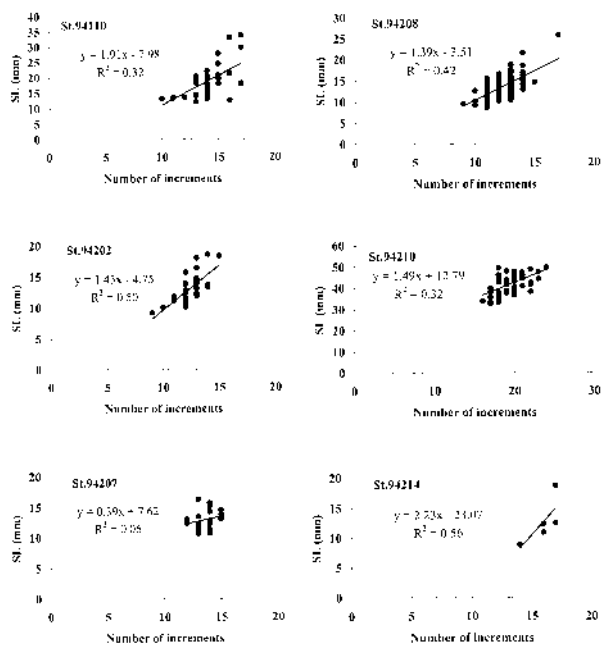


Fig. 5-11a. Relationship between standard length and number of increments of sagittal otolith by sampling locations for skipjack tuna in November to December 1994.

で8.6mm, St94210の18日齢で16.1mm, St94214の17日齢で6.2mm, 1995年の仔稚魚では, St95105の15日齢で8.7mm, St95204の22日齢で18.6mm, St95205の15日齢で20.7mm, St95206の14日齢で9.9mm, St95208の15日齢で17.1mmであった。各調査点での回帰直線の傾き, つまり成長速度は, 1994年には0.06 - 2.23, 1995年には0.47 - 3.84で調査点によって異なっていた。これらの結果から, カツオの仔稚魚の成長は, 個体間でも, 年および海域によっても大きな差があることが明らかとなった。

日齢と標準体長との関係を用いて, カツオの仔魚期から稚魚期における成長過程を明らかにする。稚魚期への移行期前後から標準体長50mm台までの成長については1994年と1995年の仔稚魚から得られた日齢データから, 仔魚期については1996年と1997年の仔魚から得られた日齢データを使用した。図5-12にそれぞれのデータをプロットし, 1次回帰直線を使って仔稚魚の成長を推定した。ただし, 仔魚については標本数が少なかったために, 1996年と1997年のデータを合わせて扱った。カツオ仔魚の成長は, 標準体長3.3 - 7.8mm (3 - 9日齢) では1日平均0.55mm程度の緩やかなものであることがわかる。一方, 孵化後10 - 12日で稚魚へ移行し, その後の成長は仔魚期よりも速く, 1994年のデータでは1日平均3.3mm (24日齢で標準体長52mm), 1995年のデータでは1日平均2.5mm (29日齢で標準体長59mm) となった。このことから, 稚魚期に入ってからのカツオが1日に2 - 3mmの急速な成長を遂げることが明らかになった。1994年の回帰直線の傾きは, 1995年より

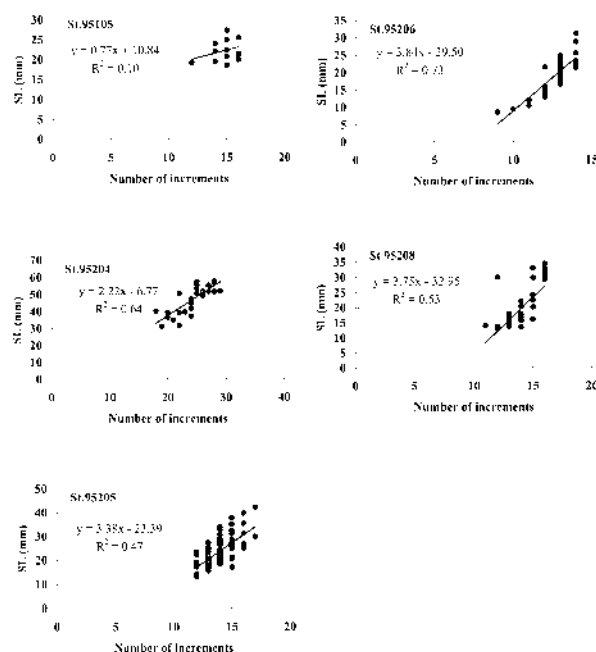


Fig. 5-11b. Relationship between standard length and number of increments of sagittal otolith by sampling locations for skipjack tuna in November to December 1995.

も明らかに大きかった ($p < 0.05$)。

耳石の成長と体成長に直線関係があることから (図5-7), 扁平石の各日輪の中心からの距離を調べることにより, 個体の体成長を推定した。図5-13に16日齢で体長の異なる3個体を使って, 個体ごとの成長過程の違いを追跡した。3個体中成長速度の最も早い個体では5日齢の段階ですでに他の個体よりも成長が良くなっていたと見られ, 最も成長の遅い個体との差は, その後16日齢まで広がっていった。一方2番目に成長の良かった個体では, 10日齢までは最も成長の遅かった個体と成長差が見られなかったが, 11日齢以降成長速度が速くなり, 最も成長の遅い個体との差が広がっていったと考えられた。

考 察

西部太平洋熱帯海域におけるカツオの初期成長様式

カツオの仔稚魚期における成長については, 第1章で述べた如くこれまでに報告例がほとんどなかった。ところが, 近年魚類の耳石に形成される日輪を読みとることにより (Panella 1971), 日齢単位で成長過程を追跡し, それぞれの種における成長様式を解明することが可能になった。そこで, カツオの初期成長研究においても耳石日輪の解析法を取り入れることにより, パラオ・ミクロネシア周辺の熱帯外洋表層域に生息するカツオの仔魚期から稚魚期にかけての成長様式を明らかにした。本研究結果によるカツオの初期成長

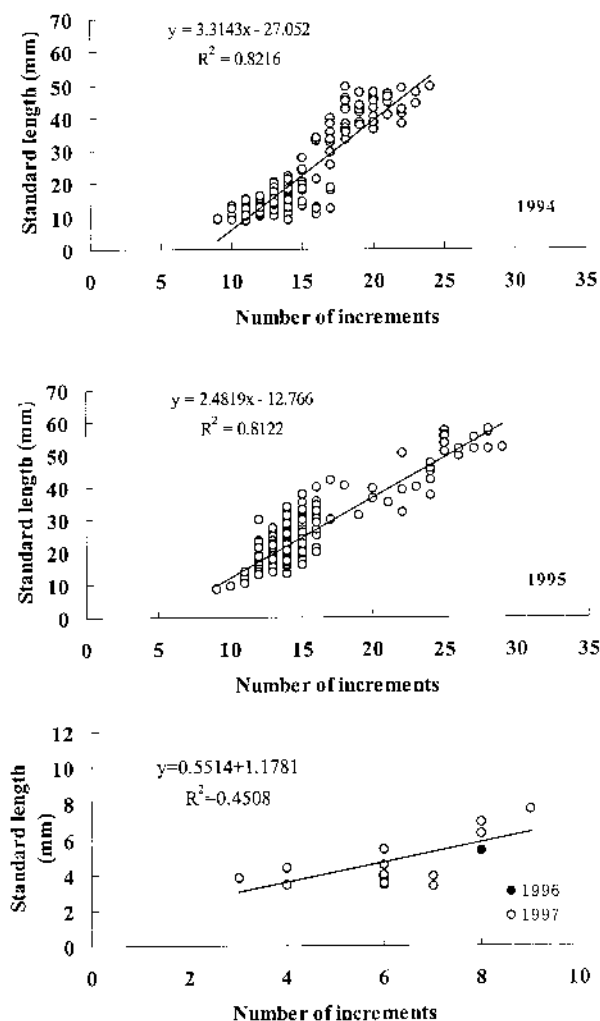


Fig. 5-12. Relationship between standard length and number of increments of sagittal otolith by sampling years for skipjack tuna estimated by the otolith increment analysis.

は、10日齢前後までの仔魚期には1日0.5mm程度で緩やかに進行していくが、10 - 12日齢で稚魚期への移行を終えた後は1日2 - 3mmもの急激な成長を示し、ふ化後1ヶ月での体長は60mm前後に到達するものと推定された。本種の初期成長の特徴として、その速さとともに同じ海域に生息する個体間でも、稚魚期への移行後の成長に顕著な個体差が生じることが明らかになった。

同じ調査点で採集された稚魚群の日齢査定からふ化日を逆算推定した結果、それぞれの調査点内で4 - 12日の違いがあることがわかり、同じ海域に分布するカツオ稚魚がふ化日の異なる個体の集まりによって構成されることが示された。また、各年のふ化日組成からは本研究海域におけるカツオ仔魚の長期間にわたるふ化が確認され、これまで仔稚魚の季節別出現状況(西川ら 1985)や成熟魚の分布(永沼 1979)から推定されていた西部太平洋熱帯域における本種の長期間に

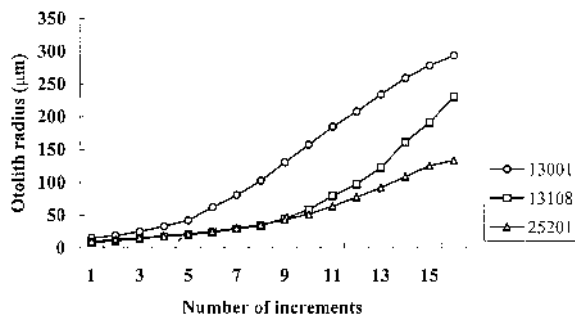


Fig. 5-13. Distance from the core to the margin for the saggital otolith of skipjack juvenile at 16 days old. Data of three individuals from November - December 1994 samples were shown. No.13001, 33.1mm SL; No.13108, 21.3mm SL; No.25201, 10.9mm SL.

わたる連続的な産卵活動が、耳石日輪解析法を用いた本研究結果によっても支持された。

サバ科魚類の初期成長は一般に他の浮魚類に比べて著しく速いことが知られており、サワラでは最初の1ヶ月間で100mmに達した例もある(福永ら 1982)。このようなカツオとその近縁種にみられる短期間での急激な成長は、後期仔魚期から発現する巨大な口と鋭い歯、大きな眼などの形態的な発達とともに、魚体内部における消化器系の発達と密接に関係していると考えられている(Tanaka *et al.* 1996)。カツオにおける魚食性の発現は、マグロ類の中でも比較的早く(Young and Davis 1990)、胃盲嚢や幽門垂などの消化器系の発達も他のマグロ類より早い時期に完成するものと考えられている(西川 1979)。カツオは生活史の早い段階から外部形態と内部器官が魚食性に適合した状態になることで、効率よく大型の餌生物を捕食することが可能となる。本研究の第4章で明らかになったように、稚魚期においても生息海域に関係なく最も優占的な餌生物が魚類仔魚であることから、魚食性が稚魚期以降の急激な成長を支えているものと考えられる。一方、本研究の第3章では稚魚期の鉛直分布に関して水深40 - 120m層を中心に生息していることを明らかにしたが、この水深層は他の層に比べて動物プランクトンやマイクロネクトンの生物量も多いことから、カツオ稚魚が餌生物を捕食する上でも有利になると考えられる。このことは同時にカツオ稚魚の捕食者との遭遇確率を増すことにもつながるが、彼らの捕食者の種類はごく少数の魚食性魚類に限られるため、餌生物を得るというプラス面の方が捕食者からの攻撃というマイナス面より大きな意味をもつと推察される。したがって、本種が食性の面からだけでなく稚魚期における鉛直分布の面からも、初期の急速な成長を可能にするような特性をもっているものと考えられる。

カツオの初期成長と生残戦略

カツオが初期生活史において主な生息域とし、成長の場として利用している熱帯の外洋表層域は、温帯域に比べて季節的な環境変動幅が小さいため、周年にわたり比較的安定した生息環境が保たれている反面、栄養条件としては温帯域よりも乏しいため全体的に餌生物量が少ない。本研究で明らかにされたカツオの初期成長様式、水平・鉛直分布特性や摂餌生態に関する知見から、このような環境条件をカツオがどのように利用し、個体の生き残りを目指しながら、その結果として資源の維持を保ってきたかという点について考える。

ふ化後最初の1ヶ月で体長60mm前後に達する初期成長の速さは、餌の乏しい熱帯の外洋表層域において魚類仔魚を主食することで支えられている。生活史上最も生活能力が弱く減耗の激しい時期をできる限り短い期間で通過し、稚魚期、幼魚期へと生活史段階を進めている。魚食性を中心とするカツオにとって、サイズが大きい個体ほど生態系内での食物連鎖における地位を高め、より高次の捕食者として位置することにつながる。一方、本研究結果において稚魚期の成長には顕著な個体差が生じることが示されたが、このことは共食いを引き起こす原因にもなると考えられる。本研究の第4章でも示したように、カツオの初期生活史における共食いは一般的に見られる現象であり、熱帯域での周年にわたる連続的な再生産活動があらゆるサイズの仔稚魚を共存させており、それらの間での共食いを可能にしている。成長の遅い個体にとってはこのような環境は生き残りに不利と見られるが、一方で成長の速い個体に共食いされることで他者の成長と生残を支えることにもつながると考えられる。

生き残りに成功した個体は成長に伴う遊泳能力の発達によって移動範囲を拡大させることが可能になり、やがて近くに生息していた個体が集まった結果、至る所で生活単位としての魚群を形成するようになる。ふ化日の異なる個体によって構成された各魚群は、ある程度の成長を遂げると餌生物の豊富な温帯域を目指して回遊行動を起こすようになり、やがて日本近海への来遊群が形成されていくと考えられる。このようなカツオの生活史戦略は現在のところまだ仮説の段階であるが、今後幼魚や成魚を含めた耳石日輪の解析を行って、初期の成長と生き残り過程を調べることにより検証可能と考えられる。これらを明らかにすることにより、西部太平洋熱帯域を対象としたカツオ資源への加入機構を解明することができると考えられる。

要 約

カツオは全世界の熱帯から温帯にかけての広大な外洋表層域に分布しており、日本をはじめ世界各地のまき網、竿釣り漁業によって広く漁獲される水産上重要な魚種である。しかしながら、漁業資源に加入する以前の生態に関しては、仔魚期の知見が若干あるものの、稚魚期から幼魚期における生態はほとんど未知のままである。

本研究は、西部太平洋におけるカツオ資源の加入機構を解明し、資源管理の基礎を築くために、稚魚・幼魚期の生態学的知見を得ることを目的として行った。

1. 幼稚魚採集法の開発

カツオ幼稚魚を採集するために、TANSYU型中層トロールと称される網口20×20m、全長72m、目合1000~57mm(コッドエンド部13.6mの目合8mm)、最大曳網速度5ノットの採集漁具を設計・製作した。これを用いて1992年から5年間、10月下旬から12月中旬に西部北太平洋熱帯域(0~20°N, 130~160°E)で調査航海を行い、497回の曳網で6724個体(1回の採集個体数0~1163個体、体長6~172mm)のカツオ幼稚魚の採集に成功した。これにより、これまで不可能であったカツオ幼稚魚の大量採集法を初めて確立した。

TANSYU型中層トロールによれば、海面付近から水深300mまで音響機器により常時曳網水深をモニターしつつ層別採集が可能であり、これまでの漁具にはない優れた採集能力を備えることが明らかになった。また、マグロ属幼稚魚の採集結果(体長8~140mm、1時間当たり採集個体数0~128個体)から、TANSYU型中層トロールはカツオだけでなくマグロ類、サケ・マス類など他の外洋性大型浮魚類の幼稚魚採集にも有効であることが示された。

2. 採集結果の概要

各年のカツオ幼稚魚の総採集回数当たり出現率は41~58%と高く、比較的年変動が小さかったが、1時間曳網当たり平均採集個体数では3~39個体と年変動が大きかった。曳網水深0~300mのうち、40~80m層と80~120m層で全体の44%および34%がそれぞれ採集され、他の層(0~40m, 120~200m, 200~300m)での採集個体数は1~13%と少なかった。曳網時刻別の1時間曳網当たり平均採集個体数では、日出後の06~10時の113個体が圧倒的に多く、10~14時、14~18時、18~22時、22~02時には8~11個体であったが、日出前および直後の02~06時は1個体で最も少なかった。時刻別出現率でも、02~06時は22%で最も低かったが、他の時間帯では昼間47~54%、夜間は47~48%で昼夜による差はなかった。曳網速度別の採集効率は、昼間は最も速い5ノットでの採集量が最も多かったが、

夜間には4.5ノットで最大となった。

3. 分布様式と環境要因

カツオ幼稚魚採集時の水温・塩分と流向・流速の鉛直観測データの解析から、幼稚魚分布域の物理環境要因を明らかにし、研究海域を北赤道海流域、境界域、北赤道反流域に区分した。中層トロールでの採集データからカツオの出現率、分布密度を海域別に求め、海洋物理学的環境要因との関係を調べた。

カツオ稚魚は北赤道海流域と北赤道反流域およびそれらの境界域に広く分布し、表層混合層下部から水温躍層上部を中心に生息していることを明らかにした。稚魚の海域別の総採集回数当たり出現率と1時間曳網当たり平均採集個体数は、北赤道反流域でそれぞれ61%、17個体と最も高く、境界域で35%、6個体、北赤道海流域で32%、15個体であった。稚魚の水平分布様式は年によって異なり、1992年と1994年は南高北低型、1995年は東偏型、1993年と1996年は海域的な偏りの少ない広範囲型の分布であった。幼魚は北赤道反流域のみで採集され、表層混合層下部を中心に分布した。カツオの鉛直分布は、成長とともに変化し、北赤道反流域の昼間のデータによれば、稚魚への移行期の体長10mm前後では0~200m、移行後の体長10~40mmの個体も0~220mに分布した。しかし、体長50~60mmに成長すると60~140m、さらに70~80mmになると90m前後の層に集中分布するようになった。稚魚の鉛直分布は海域の水温鉛直構造によく対応しており、水温躍層の浅い海域ではカツオの分布水深も浅くなり、深い海域では深くなった。中層トロールによる全採集生物の水深別分布密度とカツオ稚魚の鉛直分布密度はよく対応しており、カツオ稚魚が他の生物の生物量が多い水深を中心に生息していることが分かった。一方、近縁のマグロ属稚魚（キハダ、メバチ）は主に北赤道反流域の表層混合層（水深80m以浅）に分布し、カツオとは明らかに分布深度が異なっていた。カツオ稚魚の分布域は、主として水温20~29℃、塩分33.6~35.5PSUであったのに対し、マグロ属稚魚は水温26~29℃、塩分33.6~33.7PSUと高水温・低塩分域に分布していたことから、熱帯の外洋表層域においてこれら近縁種の稚魚の棲み分けが行われていることが明らかとなった。

4. 食性と摂餌行動の日周期性

北赤道海流域と北赤道反流域で採集したカツオ稚魚とマグロ属稚魚の胃内容物を分析し、各餌動物群の出現率（重量%、個体数%、頻度%）から相対的重要度指数〔IRI=(重量%+個体数%)×頻度%〕を計算することにより、それぞれの餌としての重要性を評価し

た。魚類仔魚のIRIは北赤道海流域で14107、北赤道反流域で10852と圧倒的に高い値を示し、カツオ稚魚の基本的な餌は魚類仔魚であることを明らかにした。両海域の種類不明消化物のIRIは魚類仔魚について2番目に高く、それぞれ214.4と346.5であったが、実顕微鏡下での観察によりこれらの多くは消化の進んだ魚類仔魚であることが分かった。このほか、北赤道海流域ではオキアミ類（IRI=162）、端脚類（9.2）、カイアシ類（0.3）が出現し、北赤道反流域ではカイアシ類（IRI=158.4）、頭足類（66.8）、オキアミ類（24.8）、ヤムシ類・等脚類・魚卵（11.6）、端脚類（2.1）が出現したことから、北赤道反流域の方が多様な餌生物を捕食していることが明らかとなったが、これらの餌料生物としての価値は低かった。

胃内容物重量指数、充満度、消化度の経時変化から、カツオ稚魚の摂餌活動の日周期性を調べた。空胃個体の割合は22~02時には100%、02~06時には80%を占めたが、日出後急速に減少し、日没前の14~18時に5.3%で最小となった。これとは対照的に、充満個体の割合は14~18時に最大値60.6%を示し、22時以降06時まで0%を示した。胃内容物重量指数および消化度数も14~18時に最大値を示し、日出前に最小値となった。したがって、カツオ稚魚は朝から夕方にかけて摂餌活動を行い、夜間には摂餌を行わない典型的な視覚捕食者であることが分かった。一方、マグロ属稚魚の餌生物は海域によらず魚類仔魚の出現率が圧倒的に高く、その他はオキアミ類と頭足類がわずかに出現しただけで、カツオよりも魚食性が強いことが明らかになった。マグロ属稚魚の摂餌活動はカツオ同様に昼間に行われ、視覚捕食を行っていると考えられた。

5. 初期の成長様式と生き残り戦略

カツオの初期成長を明らかにする目的で、1994年~1997年に採集した仔稚魚の耳石を用いて、光学顕微鏡と画像計測の可能な耳石日輪計測システムにより耳石輪紋の計測を行い、縁辺成長率の経時変化により、稚魚期における耳石の輪紋が1日1本できる日輪であることを証明した。

仔稚魚548個体（体長3.3~57.7mm）の耳石日輪を用いて、日輪数と体長との関係を求め、仔魚期から稚魚期における成長速度を調べた。1996年と1997年の体長3.3~7.8mmの仔魚15個体（3~9日齢）では0.55mm/日の緩やかな成長を示した。1994年の仔稚魚285個体（9~24日齢）では3.3mm/日、1995年の仔稚魚248個体（9~29日齢）では2.5mm/日と急速な成長を示し、ふ化後1ヶ月で体長60mm前後に成長することが明らかとなった。カツオ仔魚は、ふ化後10~12日で稚魚期に移行し急速に成長速度を速めるとともに、この時期から成長

に顕著な個体差が現れ始めた。また稚魚期の成長は、年および海域によっても大きな差があることが明らかになった。耳石日輪の中心からの距離を解析し、初期成長のよかった個体はふ化後5日目以降に成長速度が急速に速くなることが分かった。初期生活史における急速な成長は、餌サイズの大型化を保証し、餌条件の不利な熱帯の外洋表層域での生残率を高め、個体群の維持にとって重要な意味をもつと考えられた。

謝 辞

本論文の執筆に際し、懇切丁寧な御指導と御鞭撻をいただいた東京大学海洋研究所の川口弘一教授に心から感謝申し上げます。東京大学海洋研究所の杉本隆成教授、渡邊良朗教授、河村知彦助教授、東京大学農学部の青木一郎教授には、審査員として有益な助言を与えていただいた。本研究の計画と実施にあたり、東北区水産研究所資源管理部浮魚資源第2研究室(当時)の元室長永沼璋氏をはじめ、渡辺洋博士、小倉未基博士、浅野政宏氏、高橋未緒氏には様々な面から暖かい御支援をいただいた。遠洋水産研究所浮魚資源部の西川康夫博士にはカツオ仔稚魚の種査定を、張成年博士にはマグロ属稚魚の種査定をお願いし、東北区水産研究所海洋環境部(当時)の清水勇吾氏にはCTDおよびADCPデータの解析をしていただいた。遠洋水産研究所の長澤和也博士には、研究の遂行と論文の執筆にあたり多くのご教示をいただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

兵庫県立香住高等学校の漁業実習船但州丸の丹生孝道船長と乗組員の方々、山口県立水産高等学校の漁業実習船青海丸の安河内隆船長(当時)、中島照久船長と乗組員各位には、カツオ幼稚魚の採集をはじめとした調査活動を技術面で支えていただいた。ミクロネシア連邦共和国政府、パラオ共和国政府の関係各位には、自国200カイリ経済水域内での調査活動に対し充分な理解とご協力を賜った。水産庁資源課国際資源班(当時)各位には、カツオ幼稚魚調査の実施を物心両面からご支援いただいた。これらの方々に対して、心からお礼申し上げます。

引用文献

- 相川広秋(1937)カツヲ群の一考察. 日水誌. 6, 13 - 21.
相川広秋・加藤益夫(1937)魚類の年齢査定(予報1). 日水誌. 7, 13 - 21.
Alverson F. G. (1963) The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 7, 295 - 396.
青木光義(1999)カツオ仔稚魚の食性. 東海海洋学研報. 20, 173 - 185.
Barraclough, W. E., Johnson, W. W., (1956) A new mid-water trawl for herring. Fish. Res. Bd. Canada Bull. 104, 1 - 25.
Batts, B. S. (1972) Food habits of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the north Carolina waters. Chesapeake Sci. 13, 193 - 200.
Batts, B. S. (1972) Age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) in north Carolina waters. Chesapeake Sci. 13, 237 - 244.
Bayliff, W. H. (1988) Growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin, *Thunnus albacares*, tunas in the eastern Pacific ocean, as estimated from tagging data. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 19, 311 - 385.
Boehlert, G. W., Mundy, B. C. (1994) Vertical and onshore-offshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. Mar. Ecol. Prog. Ser. 107, 1 - 13.
Chi, K. S., Yang, R. T. (1973) Age and growth of skipjack tuna in the waters around the southern part of Taiwan. Acta Oceanogr. Taiwan. 3, 199 - 221.
Chow, S., Inoue, S. (1993) Intra- and interspecific restriction fragment length polymorphism in mitochondrial genes of *Thunnus* tuna species. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. 30, 207 - 225.
Davis, T. L. O., Jenkins, G. P., Young, J. W. (1990) Diel patterns of vertical distribution in larvae of southern bluefin *Thunnus maccoyii*, and other tuna in the East Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 59, 63 - 74.
Davis, T. L. O., Jenkins, G. P., Yukinawa, M., Nishikawa, Y. (1989) Tuna larvae abundance: comparative estimates from concurrent Japanese and Australian sampling programs. Fish. Bull. 87, 976 - 981.
Dizon, A. E., Brill, R. W., Yuen, H. S. H. (1978) Correlations between environment, physiology, and activity and the effects on thermoregulation in skipjack tuna. The physiological ecology of tunas. Academic Press. 233 - 259.
Dragovich, A. (1970) The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic Ocean. Fish. Bull. 68, 445 - 460.
Dragovich, A. (1971) Food of skipjack tuna in the Caribbean Sea and adjacent oceanic waters. FAO Fish. Rep. 71, 27 - 40.
Dragovich, A., Potthoff, T. (1972) Comparative study of food of skipjack and yellowfin tunas off the coast of west Africa. Fish. Bull. 70, 1087 - 1110.
Eckles, H. H. (1949) Observations on juvenile oceanic skipjack (*Katsuwonus pelamis*) from Hawaiian waters and sierra mackerel (*Scomberomorus sierra*) from the eastern Pacific. Fish. Bull. 51, 245 - 250.
Food and Agriculture Organization (1999) FAO yearbook, fishery statistics, catches and landings. 84, 321 - 323.
福永辰夫・石橋矩久・三橋直人(1982)サワラの採卵および

- び種苗生産・栽培技研. 11, 29 - 48 .
- Gartner Jr., J. V. (1991) Life histories of three species of lanternfishes (Pisces : Myctophidae) from eastern Gulf of Mexico. Mar. Biol. 111, 11 - 20.
- Higgins, B. E. (1970) Juvenile tunas collected by midwater trawling in Hawaiian waters, July-September 1967. Trans. Amer. Fish. Soc. 99, 60 - 69 .
- Higgins, B. E. (1967) The distribution of juveniles of four species of tunas in the Pacific Ocean. Proc. Indo-Pacific Fish. Council. 12th Sess. Sect. 2. 79 - 99 .
- 堀田秀之 (1953) 薩南海域の幼魚の分布について. 東北水研研報. 2, 19 - 21 .
- 堀田秀之・小川 達 (1955) 海区別カツオの食餌組成について. 東北水研研報. 4, 62 - 82 .
- Hunter, J. R., Macewicz, B. J., Sibert, J. R. (1986) The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. Fish. Bull. 84, 895 - 903 .
- 飯塚景記 (1985) 昭和59年度調査船照洋丸第2次航海報告書. ミクロネシア南部海域におけるカツオ幼魚, 未成魚の分布調査. 水産庁研究部. 1 - 91 .
- 飯塚景記・浅野政宏・永沼 璋 (1989) 南方カツオ (*Katsuwonus pelamis* LINNAEUS) の食性とカツオ幼魚の出現状況. 東北水研研報. 51, 107 - 116 .
- 岩井 保 (1985) 体形と遊泳様式. 水産脊椎動物2. 魚類. 新水産学全集4. 恒星社厚生閣. 27 - 41 .
- 岩井 保 (1988) 仔稚魚と変態. 水産脊椎動物2. 魚類. 新水産学全集4. 恒星社厚生閣. 229 - 243 .
- Jenkins, G. P., Davis, T. L. O. (1990) Age, growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 63, 93 - 104 .
- Joseph, J., Calkins, T. P. (1969) Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull. 13, 1 - 273 .
- Josse, E., Le Guen, J. C., Kearney, R. E., Lewis, A. D., Smith, B. R., Marec, L., Tomlinson, P. K. (1979) Growth of skipjack. South Pac. Comm. Occas. Pap., 11, 1 - 83 .
- 海洋水産資源開発センター (1989) 昭和62年度遠洋底びき網新漁場開発調査報告書. 1 - 50 .
- 川崎 健 (1965) カツオの生態と資源. 1. 分類および分布, 生態論. 水産研究叢書8 - 1. 日本水産資源保護協会. 1 - 48 .
- 川崎 健 (1965) カツオの生態と資源. 2. 資源論 漁況論. 水産研究叢書8 - 2. 日本水産資源保護協会. 1 - 108 .
- King, J. E., Ikehara, I. I. (1956) Comparative study of food of bigeye and yellowfin tuna in the central Pacific. Fish. Bull. 57, 61 - 85 .
- King, J. E., Iversen, R. T. B. (1962) Midwater trawling for forage organisms in the central Pacific. Fish. Bull. 62, 271 - 321 .
- 岸上謙吉 (1926) 大正14年に於ける叉骨類(シビ・カツオ)研究の概要. 水産学会報. 4, 125 - 137 .
- 気象庁海洋気象部 (1995) 気象庁海洋月報. 35, 7 - 11 .
- 気象庁気候・海洋気象部 (1996) 気象庁海洋月報. 47, 3 - 16 .
- Leis, J. M., Trnski, T., Harmelin-Vivien, M., Renon, J. -P., Dufour, V., El Moudni, M. K., Galzin, R. (1991) High concentrations of tuna larvae (Pisces : Scombridae) in near-reef waters of French Polynesia (Society and Tuamotu islands). Bull. Mar. Sci. 48, 150 - 158 .
- Magnuson, J. J. (1969) Digestion and food consumption by skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Trans. Amer. Fish. Soc. 98, 379 - 392 .
- Magnuson, J. J. (1978) Locomotion by scombrid fishes : hydromechanics, morphology, and behavior. Fish Physiology 7 Locomotion. Academic press. 239 - 313 .
- Marr, J. C. (1948) Observations on the spawning of oceanic skipjack (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) in the northern Marshall Islands. Fish. Bull. 51, 201 - 206 .
- Matsumoto, W. M. (1958) Description and distribution of larvae of four species of tuna in central Pacific waters. Fish. Bull. 58, 31 - 72 .
- Matsumoto, W. M. (1961) Collection and description of juvenile tunas from the central Pacific. Deep Sea Res. 8, 279 - 285 .
- Matsumoto, W. M. (1975) Description, relative abundance, and movement of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific ocean based on Japanese longline catches, 1964 - 67. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF 695, 1 - 30 .
- Matsumoto, W. M., Skillman, R. A., Dizon, A. E. (1984) Synopsis of biological data on NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 451, 1 - 92 .
- Meekan, M. G., Fortier, L. (1996) Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod *Gadus morhua* on the Scotian Shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 137, 25 - 37 .
- Miller, J. M. (1979) Nearshore abundance of tuna (Pisces : Scombridae) larvae in the Hawaiian islands. Bull. Mar. Sci. 29, 19 - 26 .
- 森慶一郎 (1972) マグロ延縄により漁獲されたマグロ・カジキ類の胃内容物として出現する数種のサバ型魚類の幼・稚魚の地理的分布と相対密度 - I. カツオ. 遠洋水研報. 6, 111 - 157 .
- 麦谷泰雄 (1988) 魚類耳石の日周形成リズム. 水産動物の日周活動. 水産学シリーズ69. 恒星社厚生閣. 35 - 46 .
- 永沼 璋 (1979) 西部太平洋におけるカツオの産卵活動について. 東北水研研報. 40, 1 - 13 .
- 永沼 璋・浅野政宏 (1987) 昭和60・61年度調査船照洋丸航海報告書. マリアナ西部海域におけるカツオ幼魚の分布調査, ソロモン東部海域におけるカツオ幼魚の分布調査. 水産庁研究部. 1 - 164 .
- Nakamura, E. L. (1965) Food and feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Marquesas and Tuamotu Islands. Trans. Am. Fish. Soc. 94, 236 - 242 .
- Nakamura, E. L., Matsumoto, W. M. (1967) Distribution of larval tunas in Marquesan waters. Fish. Bull. 66, 1 - 12 .

- 二平 章 (1996) 潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および生理に関する研究 東北水研研報 . 58, 137 - 233 .
- 西川康夫 (1975) カツオ仔稚魚の胃盲嚢の発達と摂餌状態 . 遠洋水研報 . 12, 221 - 236 .
- 西川康夫・本間 操・上柳昭治・木川昭二 (1985) 遠洋性サバ型魚類稚仔の分布, 1956 - 1981年 . 遠洋水産研究所 . S. Series 12, 1 - 99 .
- 西牟田力雄・大洋漁業株式会社・泰東製鋼株式会社 (1990) NEAFC 水域における中層性アカウオを対象とした中層トロール網について (深海丸). JAMARC. 37, 48 - 57 .
- 落合 明・田中 克 (1998) カツオ類 . 新版魚類学 (下) 改訂版 . 恒星社厚生閣 . 856 - 883 .
- 沖山宗雄 (1993) 日本産稚魚図鑑 . 東海大学出版会 . 609 - 624 .
- Panella, G. (1971) Fish otolith : daily growth layers and periodical patterns. Science. 173, 1124 - 1127 .
- Pinkas, L., Oliphant, M. S., Iverson, I. L. K. (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Fish Bulletin. 152, 1 - 139 .
- Radtke, R. L. (1983) Otolith formation and increment deposition in laboratory-reared skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, larvae. NOAA Tech. Rep. NMFS 8, 99 - 103 .
- Reid Jr, J. L. (1962) On circulation, phosphate-phosphorous content, and zooplankton volumes in the upper part of the Pacific Ocean. Limnology and Oceanography. 7, 287 - 306 .
- Roger, C. (1994) Relationships among yellowfin and skipjack tuna, their prey-fish and plankton in the tropical western Indian Ocean. Fish. Oceanogr. 3, 133 - 141 .
- Shabotiniets, E. I. (1968) Age determination of Indian Ocean tunas. Tr. VNIRO. 64, Tr. AzcherNIRO 28, 374 - 376 .
- Shimada, B. M. (1951) Juvenile oceanic skipjack from the Phoenix Islands. Fish. Bull. 52, 129 - 131 .
- Sibert, J. R., Kearney, R. E., Lawson, T. A. (1983) Variation in growth increments tagged skipjack (*Katsuwonus pelamis*) South Pac. Comm. Tuna and Billfish Assess. Prog. Tech. Rep. 10, 1 - 43 .
- 代田昭彦 (1970) 魚類稚仔魚期の口径に関する研究 . 日水誌 . 36, 353 - 367 .
- 代田昭彦 (1978) 魚類稚仔魚期の口径に関する研究 . 2 . 上顎長の魚種による特性 . 日水誌 . 44, 1171 - 1177 .
- Sosa-Nishizaki, O., Shimizu, M., Nose, Y. (1989) The potential use of the second dorsal fin rays of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as an aging character. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1559 - 1564 .
- Strasburg, D. W. (1959) An instance of natural mass mortality of larval frigate mackerel in the Hawaiian islands. J. Cons. Int. Explor. Mer. 24, 255 - 263 .
- Strasburg, D. W. (1960) Estimates of larval tuna abundance in the central Pacific. Fish. Bull. 60, 231 - 255 .
- 須田 明 (1953) マグロ・カジキ類の胃内容物中にみられるカツオ若年魚 . 日水誌 . 19, 319 - 327 .
- Takeshita, K., Ogawa, N., Mitani, T., Hamada, R., Inui, E., Kubota, K. (1988) Acoustic survey of spawning sardine, *Sardinops melanosticta* in the coastal waters of west Japan. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 66, 101 - 117 .
- 宅野秀明・上柳昭治 (1978) 西部太平洋における中層稚魚トロール網による幼・稚魚調査結果 . 遠洋水産研究所浮魚資源部 . 1 - 55 .
- Tanabe, T., Niu, K. (1998) Sampling juvenile skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and other tunas, *Thunnus spp.*, using midwater trawls in the tropical western Pacific. Fish. Bull. 96, 641 - 646 .
- 田邊智唯・小倉未基・高橋未緒・渡辺 洋 (1998) 中層トロール網採集によるパラオ・ミクロネシア周辺海域におけるカツオ・マグロ類稚魚の出現状況 . 東北水研研報 . 60, 15 - 22 .
- Tanaka, M., Kaji, T., Nakamura, Y., Takahashi, Y. (1996) Developmental strategy of scombrid larvae : High growth potential related to food habits and precocious digestive system development. Survival strategies in early life stages of marine resources. A. A. Balkema. 125 - 139 .
- 田中 有 (1989) 南方海域における海外まき網漁業の漁獲量とカツオの年齢組成の経年変化 . 東北水研研報 . 51, 89 - 106 .
- 手島和之・藤石昭生・久保田勝彦・井上 悟・永松公明・阿部 寧・築山一雄・竹下貢二 (1993) 調査用中層トロール網 (Yoko-2型改) の曳網特性 . 西水研研報 . 71, 9 - 16 .
- Thorrold, S. R. (1993) Post-larval and juvenile scombrids captured in light traps : preliminary results from the central great barrier reef lagoon. Bull. Mar. Sci. 52, 631 - 641 .
- Uchiyama, J. H., Struhsaker, P. (1981) Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. Fish. Bull. 79, 151 - 162 .
- 上柳昭治 (1969) インド・太平洋におけるマグロ類稚仔魚の分布 - ピンナガ産卵域の推定を中心とした検討 . 遠洋水研報 . 2, 177 - 256 .
- 上柳昭治・森慶一郎・西川康夫・須田 明 (1973) マグロ類養殖技術開発試験報告 . 1970年4月～1973年3月 . 遠洋水研 S. Series 8 . 1 - 165 .
- 上柳昭治・西川康夫・松岡玳良 (1973) カツオの人工ふ化と仔魚の形態 . 遠洋水研報 . 10, 179 - 188 .
- 魚谷逸朗・松崎加奈恵・牧野祐子・野田聖無・稲村 修・堀川 貢 (1981) 北西オーストラリア海域産マグロ・カツオ類稚仔の食性 . 日水誌 . 47, 1165 - 1172 .
- 魚谷逸朗・斉藤 勉・平沼勝男・西川康夫 (1990) 北西大西洋産クロマグロ *Thunnus thynnus* 仔魚の食性 . 日水誌 . 56, 713 - 717 .
- Wade, C. B. (1951) Larvae of tuna and tuna-like fishes from Philippine waters. Fish. Bull. 51, 445 - 485 .
- Wardron, K. D., King, J. E. (1963) Food of skipjack in the central Pacific. FAO Fish. Rep. 6, 1431 - 1457 .
- Watanabe, H., Moku, M., Kawaguchi, K., Ishimaru, K.,

- Ohno, A(1999) Diel vertical migration of myctophid fishes (Family Myctophidae) in the transitional waters of the western North Pacific. *Fish. Oceanogr.* 8, 115 - 127 .
- 渡辺久也 (1958) 西部太平洋赤道海域におけるキハダとメバチの食餌組成について . 南海水研報 . 7 , 72 - 81 .
- 渡邊良朗 (1997) 年齢形質の有効性検討 . 水産動物の成長解析 . 水産学シリーズ115 . 恒星社厚生閣 . 17 - 27 .
- Watanabe, Y., Oozeki, Y., Kitagawa, D. (1997) Larval parameters determining preschooling juvenile production of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwestern Pacific. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 1067 - 1076 .
- Watanabe, Y., Kuroki, T. (1997) Asymptotic growth trajectories of larval sardine (*Sardinops melanostictus*) in the coastal waters off western Japan. *Mar. Biol.* 127, 369 - 378 .
- Wild, A., Wexler, J. B., Foreman, T. J. (1995) Extended studies of increment deposition rates in otoliths of yellowfin and skipjack tunas. *Bull. Mar. Sci.* 57, 555 - 562 .
- Wild, A., Foreman, T. J. (1980) The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.* 18 : 421 - 482 .
- 矢部 博 (1955) 西部太平洋における稚魚の研究 .1 . カツオの後期仔魚 . 日水誌 . 20 , 1054 - 1059 .
- Yao, M. (1981) Growth of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* 43, 71 - 82 .
- 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二 (1961) 南海水研報 . 14 , 1 - 239 .
- Yoshida, H. (1971) The early life history of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 69, 545 - 554 .
- Young, J. W., Davis, T. L. O. (1990) Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces : Scombridae) in the eastern Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 61, 17 - 29 .